



TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto

Reetta Mäkelä

**PAPERIN OMINAISUUKSIEN JA KUIVATOONERIN  
PARTIKKELIKOON VAIKUTUS ELEKTROFOTOGRAFIAN  
MIKROMITTAISEEN LAATUUN**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin  
tutkintoa varten Espoossa 12.9.2005.

Valvoja

Professori Pirkko Oittinen

Ohjaaja

Diplomi-insinööri Pasi Puukko

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto  
Kirjasto



**Tekijä:** Reetta Mäkelä

**Työn nimi:** Paperin ominaisuuksien ja kuivatoonerin partikkelikoon vaikutus elektrofotografian mikromittaiseen laatuun

**Päivämäärä:** 12.9.2005

**Sivumäärä:** 69+22

**Osasto, professuuri**

Puunjalostustekniikan osasto  
AS-75 Graafinen tekniikka

**Työn valvoja**

Professori Pirkko Oittinen

**Työn ohjaaja**

Diplomi-insinööri Pasi Puukko

Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää, vaikuttavatko paperin ominaisuudet kuivatooneri-elektrofotografian mikromittaiseen laatuun ja mitkä ominaisuudet vaikuttavat eniten. Edelleen tutkittiin eri toonerikoostumusten partikkelikoon ja kerrospaksuuden vaikutusta. Pääpaino tutkimuksessa asetettiin viivojen toistumiselle.

Kirjallisuusosassa käsiteltiin elektrofotografian peruseriaatteita ja toimintaa. Tulostuslaadun muodostumista määritettiin tulostukseen osallistuvien elementtien kannalta. Luotiin myös katsaus toonereihin, niiden ominaisuuksiin ja vaikutuksiin tulostukseen. Aiempien tutkimusten valossa tärkeimpiä tulostuslaatuun vaikuttavia paperitekniisiä ominaisuuksia havaittiin olevan paperin karheus ja resistiivisyys.

Tulostuksen mikromittaisen laadun mittaustapoina käytettiin dynaamista aluetta, kontrastinsiirtofunktiota ja viivan ominaisuuksia. Koeaineistona tutkimuksessa käytettiin pilotmittakaavassa valmistettuja koepapereita, jotka kalanteroitiin eri sileystasoihin. Testikuva koepapereille tulostettiin KCL-Duplo testitulostimella. Tutkimuksessa havaittiin, että dynaamista aluetta kasvatti odotetusti eniten fotojohteen valotuksen lisääminen ja valotuksen pituudesta riippuva toonerimäärän kasvu. Papereilla eniten eroja dynaamiseen alueeseen syntyi karheuden perusteella. Toonereiden välille syntyi eroja enemmän kuin papereiden välille.

Kontrastinsiirtofunktio on voimakkaasti riippuvainen dynaamisesta alueesta. Paperin päällystäminen paransi kontrastinsiirtofunktiota. Pääpiirteissään paperin vaikutus kontrastinsiirtofunktioon oli hyvin vähäistä, erityisesti kemiallisella toonerilla. Eri toonereilla syntyi eroja kontrastinsiirtofunktioon. Kapeilla viivastoilla pienipartikkelisen toonerin aikaansaama parempi viivojen erottuvuus tuotti paremman kontrastinsiirtofunktion.

Reunan kohina eli leveyden vaihtelu oli suurinta karheimmilla papereilla ja suuripartikkelisella toonerilla. Paperin ominaisuuksien vaihtelu vaikutti kuitenkin reunakohinaan tooneria enemmän. Viivojen havaittiin leviävän enemmän päällystetyillä papereilla. Toisaalta viivojen reunat olivat silloin myös vähemmän kohinaisia ja rosoisia. Myös tooneri vaikutti viivan leviämiseen. Mitä suurempipartikkelisempi tooneri ja pidempi valotus, sitä enemmän tooneri levisi. Viivan rosoisuuden ja terävyyden havaittiin olevan eniten riippuvaista paperin karheudesta. Todettiin myös, että rosoisuus lisääntyi toonerin pienentyessä. Myös rosoisuuden syntyprosessissa oli eroja; pintaliimatuilla papereilla se johtui toonerin penetroitumisesta kuitujen väliin ja päällystetyillä papereilla tooneripartikkeleiden siroamisesta ja osittaisesta viivaan sulautumisesta.

Tutkimuksessa havaittiin, että toonerin partikkelikoon pieneneminen parantaa yksityiskohtien toistokykyä, mutta tuottaa heikomman tuloksen dynaamisessa alueessa ja rosoisuudessa. Työssä saavutetut tulokset olivat kirjallisuuden mukaisia.



**Author:** Reetta Mäkelä

**Title of the Thesis:** The effect of paper properties and dry toners particle size on the micro scale quality of electrophotography

**Date:** 12.9.2005

**Number of pages:** 69+22

**Department, Professorship**

Department of Forest Products Technology  
AS-75 Graphic Arts Technology

**Supervisor**

Professor Pirkko Oittinen

**Instructor**

M.Sc. Pasi Puukko

The goal of this research was to find out if paper properties have an effect on micro scale quality of electrophotographic process and if they do, which properties have the largest effect. Also the effect of toner particle size and toner amounts was studied.

In the literature part the principal of electrophotography was referated. The formation of print quality was studied from both paper and toner point of view. Based on earlier studies the paper properties that affect print quality the most are roughness and resistivity of paper.

The methods and measures used to describe microscale quality were dynamic range, contrast transfer function and characterization of lines. The papers used were made at KCL pilot plant. The test papers were calandered into different smoothness levels. Other variables were toners and toner amount.

It was found that toner amount increased the dynamic range the most. The paper property that decreased dynamic range most was roughness of the paper. Toner types made more difference than the papers. It was found that dynamic range had great effect on contrast transfer function. Coating of paper raised the contrast transfer function higher. Apart from coating, paper properties had very little effect on CTF. Especially with chemical toner the differences were almost non existent. It was found that with wide lines best contrast was achieved with thick layer of toner and with narrow lines with small toner particle size.

Lines were noticed to spread out more on coated papers. On the other hand on coated papers lines were less ragged and the edge noise was smaller. The toner affected also the line spreading. The larger toner particles and longer exposure of photoconductor were, the more the lines spread. Edge noise was largest on roughest papers and coarse toner. Differences of paper affected the edge noise more than toners. Edge raggedness was found to be most affected by the roughness of the paper. It was also found that edge raggedness was larger on a small particle sized toner. The formation mechanism of edge raggedness differed on surface sized and coated papers. With surface sized paper the raggedness came from toner penetration in between of paper fibers and with coated paper from satellite particles that were partly melted together with the line.

It was found that smaller particles of toner made detail rendering better but dynamic range, raggedness and sharpness of lines worse. The results were in accordance with literature.



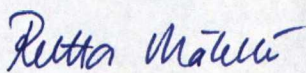
## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Teknillisen korkeakoulun Viestintätekniikan laboratoriossa osana KCL:n tutkimusprojektia. Suuret kiitokseni haluan osoittaa työn valvojalle Pirkko Oittiselle ja ohjaajalle Pasi Puukolle kannustuksesta, hyvistä neuvoista, ja rakentavista kommenteista matkani varrella sekä mahdollisuudesta tehdä tämä työ. Kiitos.

Kiitos myös KCL:n henkilöstölle, joka on osallistunut mittausten ja tulostusten tekemiseen. Kiitos Q:lle Matlab-avuihin ja Pialle opastuksesta ja kommenteista, Stinalle maailmanparannustuokioista ja punakynän heiluttamisesta sekä muullekin laboratorion henkilökunnalle.

Kiitos perheelleni, joka on tukenut minua koko opiskelujeni ajan. Kiitos mahtaville ystäväilleni, joilta on aina saanut tukea tarvittaessa. Ja vielä; kiitos Stuben avustasi, kannustuksestasi, tuestasi ja kaikesta.

Espoossa 12.9.2005

  
Reetta Mäkelä



# SISÄLLYSLUETTELO

<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTA.....	1
1.2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA RAJAUKSET.....	1
<b>2 ELEKTROFOTOGRAFINEN MENETELMÄ .....</b>	<b>2</b>
2.1 YLEISTÄ.....	2
2.2 TOIMINTAPERIAATE .....	2
2.2.1 Fotojohde ja valotus .....	2
2.2.2 Toonerikehitys ja siirto .....	3
2.2.3 Kiinnitys.....	3
<b>3 TULOSTUSLAATU .....</b>	<b>5</b>
3.1 ELEKTROFOTOGRAFIAN YLEINEN LAATU .....	5
3.2 PIENTEN YKSITYISKOHTIEN LAATU .....	5
3.2.1 Pisteenviittäminen .....	5
3.2.2 Reunakohina ja -profiili .....	5
3.3 TULOSTETTAVAN KUVAN VAIKUTUS LAATUUN.....	6
3.4 VALOTUKSEN VAIKUTUS LAATUUN .....	7
3.5 TOONERIKEHITYKSEN LAATUVAIKUTUKSET .....	7
3.5.1 Toonerityypit ja niiden koostumus.....	7
3.5.2 Toonereiden ominaisuudet tulostuksessa.....	8
3.6 PAPERIN OMINAISUUDET TULOSTUKSESSA.....	9
3.6.1 Paperin ajettavuus .....	9
3.6.2 Paperin vaikutus painatuksen ja tulostuksen laatuun.....	9
3.7 SIIRRON JA KIINNITYKSEN VAIKUTUKSET LAATUUN .....	10
<b>4 TULOSTUSLAADUN OBJEKTIIVINEN MITTAAMINEN.....</b>	<b>12</b>
4.1 YLEISTÄ.....	12
4.2 DYNAAMINEN ALUE JA KOHINA .....	12
4.3 KONTRASTINSIIRTOFUNKTIO.....	13
4.4 VIIVAN KARAKTERISOINTI .....	13
<b>5 AINEISTO, LAITTEET JA KOKEIDEN TOTEUTUS.....</b>	<b>14</b>
5.1 KOESUUNNITELMA .....	14
5.2 PAPERIT .....	14
5.3 TOONERIT .....	16
5.4 TESTIKUVAN TULOSTUS .....	17
5.5 KUVAUS.....	18
5.6 MITTAUKSET .....	19
5.6.1 Kontrastinsiirtofunktion mittaaminen.....	19
5.6.2 Viivapalkin karakterointi.....	20
5.7 ESITESTI JA SEN TULOKSET .....	21
5.7.1 Tausta ja tavoitteet.....	21
5.7.2 Tulokset ja toimenpiteet.....	21
<b>6 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....</b>	<b>25</b>
6.1 YLEISTÄ.....	25
6.2 DYNAAMINEN ALUE.....	25
6.2.1 Dynaamisten alueiden erot papereiden aiheuttamina .....	25



6.2.2 Dynaamiset alueet eri toonereiden ja toonerimäärien aiheuttamina .....	32
6.3 KONTRASTINSIIRTOFUNKTIO.....	38
6.3.1 Yleistä.....	38
6.3.2 Papereiden aiheuttamat erot eri toonereilla .....	38
6.3.3 Toonereiden ja niiden määrän aiheuttamat erot eri papereilla .....	43
6.4 VIIVAPALKIN OMINAISUUDET .....	48
6.4.1 Leveys.....	48
6.4.2 Reunakohina .....	51
6.4.3 Rosoisuus .....	53
6.4.4 Terävyysprosentti.....	57
6.5 PAPERIN JA TOONERIN VAIKUTUSTEN VERTAILU.....	59
6.6 LUOTETTAVUUSANALYYSI.....	59
<b>7 YHTEENVETO .....</b>	<b>62</b>
<b>LÄHDELUETTELO .....</b>	<b>64</b>
<b>LIITTEET</b>	



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Lasertulostimien koon pienentyminen ja värillisyyden lisääntyminen sekä hinnan lasku ovat tuoneet elektrofotografiaa hyödyntävät laitteet kotitoimistojenkin ulottuville. Pienet ja nopeat lasertulostimet eivät kuitenkaan teknisten ratkaisujensa puolesta yllä vielä läheskään sille laatutasolle, jolle elektrofotografia parhaimmillaan pääsee. Lisääntynyt käyttö, paitsi koti-, valokuva ja toimistotulostuksessa, myös uusilla alueilla, kuten elektronisten komponenttien tulostuksessa, asettaa tulostukselle uusia haasteita. Tarvitaan yhä parempaa mikromittaista laatua.

Tuotantomittakaavaisten elektrofotografiaa hyödyntävien painolaitteiden tuottama painolaatu on tärkeä kilpailukohde valittaessa painotapaa. Offset-painatuksen laatu on vielä tähän asti ollut elektrofotografista laatua tarkempaa, mutta viime vuosina välimatka on entisestään kuroutunut pieneksi. Erityisesti nestemäistä tooneria käyttävät painolaitteet ovat jo painolaadultaan jopa samantasoisia offsetin kanssa. /40, 58/

Elektrofotografisten tulostimien käyttämän värijauheen eli toonerin partikkelikoon pienentyessä myös kuivatooneria käyttävät tulostimet pystyvät tuottamaan yhä tarkempia tulosteita. Uuden polymeerisen, partikkelikooltaan pienemmän ja tasaisemman toonerin tultua markkinoille on ero nestemäistä ja kuivatooneria käyttävien laitteiden laadun välillä kaventunut. Suurimmat haasteet kuivatoonerilaitteistoissa ovat edelleen toonerin osoituksessa ja hallinnassa kehityksen ja siirron aikana. Aiemmissa tutkimuksissa /32/ on todettu, ettei paperin laatu juurikaan vaikuta tulosteen laatuun, mutta kun värijauheen partikkelikoko muuttuu yhä pienemmäksi, saattaa paperin laadullakin alkaa olla vaikutusta.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Työn tavoitteena on selvittää, onko paperin pintaliimauksella ja päällystyksellä merkittäviä vaikutuksia elektrofotografisen tulostuksen mikromittaiseen laatuun kuivatoonerin partikkelikoon pienentyessä. Tutkimus tehdään tutkimalla paperin aiheuttamia muutoksia mikromittaisten yksityiskohtien toistokykyyn. Siinä tutkitaan myös toonerin partikkelikoon aiheuttamia muutoksia samoilla papereilla. Työ liittyy Oy Keskuslaboratorio – Centrallaboratorium Ab:n laajempaan elektrofotografisen painatuksen sekä paperien ja toonereiden ominaisuuksia selvittävään tutkimuskokonaisuuteen. Tutkimuksessa keskitytään viivapalkkien tarkasteluun, sillä rasteripisteiden tutkimus on jo hyvällä tasolla Keskuslaboratoriossa.

Tutkimuksessa pyritään löytämään vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

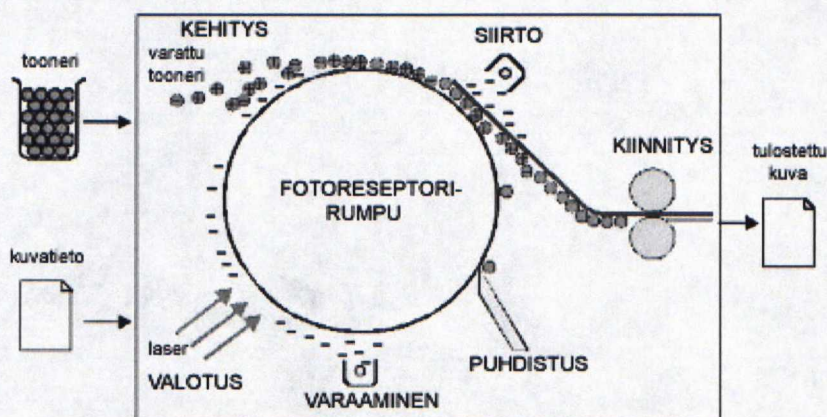
- Millaisilla menetelmillä mikromittaista laatua voidaan tutkia?
- Onko paperilla merkitystä toonerin partikkelikoon ja toonerikerroksen paksuuden pienentyessä ja mitkä paperin ominaisuudet vaikuttavat eniten?
- Miten toonerin partikkelikoon pienentyminen vaikuttaa mikromittaiseen laatuun?



## 2 ELEKTROFOTOGRAFINEN MENETELMÄ

### 2.1 Yleistä

Elektrofotografia on laajalle levinnein non-impact painatusteknologia. Elektrofotografisten tulostimien ja painokoneiden toiminta perustuu Chester Carlsonin 1930-luvulla tekemään havaintoon, että pintaan, jolla varaus vaihtelee paikallisesti, voidaan tartuttaa väriainepulveria ja saada kuvio siten näkyväksi. Ensimmäinen automaattinen toimistokopioinokone, joka ei tarvinnut erikoiskäsiteltyä paperia, oli vuonna 1959 esitelty Xerox 914. Nykyään paperien ei tarvitse olla erikoiskäsiteltyjä, mutta erilaisilla pintakäsittelyillä saadaan aikaan parempilaatuisia tulosteita etenkin väritulostuksessa. Elektrofotografinen prosessi voidaan jakaa kuuteen osaprosessiin (varaaminen, valotus, kehitys, siirto, kiinnitys ja puhdistaminen), jotka on esitelty kuvassa 1. Fotojohteen varaaminen voidaan laskea myös kuuluvaksi valotukseen tai puhdistukseen. /11, 27, 29, 42, 65/



**Kuva 1.** Elektrofotografiaan perustuvan digitaalisen painokoneen toimintaperiaate /11/

### 2.2 Toimintaperiaate

#### 2.2.1 Fotojohde ja valotus

Ensimmäisessä vaiheessa puolijohdemateriaalista valmistetulla reseptoripinnalla päällystetty sylinteri eli rumpu varataan tasaisella sähköisellä varauksella. Varaus toteutetaan yleensä suojatulla koronalangalla. Suojaus helpottaa tasaisen varauksen aikaansaamista. Puolijohteet ovat niin sanottuja fotojohteita, joiden sähkönjohtokyky pimeässä on pieni, mutta kasvaa valon vaikutuksesta. Yleensä puolijohteet ovat kaksi- tai kolmikerrosrakenteita. Johteen rakenteessa eri kerroksiksi voidaan erottaa varausten generointikerros ja kuljetuskerros. Kolmas kerros on suojakerros. Kaksikerroksisessa johteessa generointi- ja kuljetuskerros on sekoitettu yhteen. Fotojohteiden materiaaleina käytettiin aiemmin eniten seleeniä ja kadmiumsulfidia, mutta nykyään valta-asemassa ovat orgaaniset fotojohteet. /27, 29, 42, 65/



Toisessa vaiheessa reseptoripintaa valotetaan ja saadaan aikaan latentti eli näkymätön kuva. Valon määrää kussakin tulostuspisteessä voidaan säädellä eli aikaansaada pisteille useita eri harmaasävyjä. Valotukseen tarvitaan valoenergiaa 5-20 mJ/m<sup>2</sup>. Valotus toteutetaan joko lasersäteen tai LED-diodien avulla. Fotojohteen koronalangalla aikaansaatu varaus siis puretaan valosähköisesti halutuilta alueilta. /27, 29, 42, 69/

### 2.2.2 Toonerikehitys ja siirto

Kolmannessa vaiheessa latentti kuva muutetaan näkyväksi toonerikehityksellä. Siinä toonerin kiinteät partikkelit, jotka ovat sähköisesti varautuneita, kiinnittyvät vastakkaismerkkisesti varautuneeseen latenttiin kuvaan fotojohteella ("charged area development", CAD). Toisessa menetelmässä tooneri on latentin kuvan kanssa samanmerkkistä, jolloin tooneri tarttuu valotettuihin alueisiin indusoituihin varauksiin ("discharged area development", DAD). /11, 27, 29, 42, 69/

Seuraavassa vaiheessa fotojohteelle kehitetty kuva siirretään paperille. Siirrossa paperi ja fotojohde täytyy saada tarpeeksi lähelle toisiaan ja tooneripartikkeleihin tulee kohdistua voima, joka ylittää niiden adheesiovoiman fotojohteelle ja saa ne siirtymään paperille. Siirto painoalustalle tehdään usein sähkökentän, lämpöenergian, mekaanisen puristuksen tai näiden yhdistelmän avulla. /3, 22, 27, 29, 42/

### 2.2.3 Kiinnitys

Toonerin kiinnitys painoalustaan tapahtuu yleensä joko pelkän puristuksen avulla (kylmä nippi) tai puristuksen ja lämmön avulla (kuuma nippi). Myös nipitön kiinnittäminen säteilyn avulla on mahdollista. Kiinteiden toonereiden kiinnittyminen on jaettavissa kolmeen osin peräkkäin vaikuttavaan mekanismiin. Ensin tooneripartikkelit kiinnittyvät toisiinsa eli sintrautuvat lämpötilan ylittäessä niiden sulamispisteen tai lasipisteen. Sen jälkeen sulanut tai pehmennyt tooneri leviää paperille. Sitten tooneri tunkeutuu paperiin ulkoisen puristuksen ja paperin kapillaari-imun vaikutuksesta. Eri laitteissa kiinnitys saadaan aikaan erilaisin menetelmin. Toimistotulostimissa käytetään usein kuumaa nippiä ja suurikokoisissa rainapainokoneissa säteilykiinnitystä. /21, 27, 29, 42, 45, 68/

Kiinnitettäessä tooneria kuuman nipin menetelmällä paperi kulkee lämmitetyn nipin läpi. Nipin telat on päällystetty elastomeerilla riittävän nippileveyden (0,5-1 cm) aikaansaamiseksi ja nippipuristus on 1-2 MPa:n luokkaa. Kontaktiaika nipissä on usein 40-50 ms. TELAAN tarttuu nestemäiseksi muuttunutta tooneria, mikäli toonerin ja telan välinen adheesiovoima on toonerin koheesiovoimaa suurempi. Siksi toonerin kanssa kosketuksiin joutuvan telan elastomeeri on yleensä pintajännitykseltään alhaista, jotta tooneri ei tarttuisi siihen. Lisäksi telan pintaan saatetaan aplikoida ohut kerros tarttumista estävää alhaisen pintajännityksen nestettä, usein silikoniöljyä. /23, 42/

Kylmän nipin kiinnityksessä paperi kulkee kovapintaisten telojen muodostaman nipin läpi, jossa nippipuristus on yli 10 MPa. Suurilla puristuslujuuksilla paperin pinta saattaa vaurioitua ja tämä rajoittaa käytettävää puristusta. Etuna menetelmässä on viiveetön käyttövalmius, koska nipin lämmittämiseen ei kulu aikaa. Suuren puristuksen vaikutuksesta toonerin käyttäytyminen muuttuu elastisesta viskoelastiseksi ja se edesauttaa toonerin penetraatiota



paperiin. Kiinnittyminen siis tapahtuu pääosin penetroitumalla, mutta sintrautumista ja leviämistäkin voi tapahtua. /42/

Säteilykiinnityksessä toonerin lämpötilaa nostetaan säteilypulssilla, joka voidaan aikaansaada joko näkyvän valon tai IR:n alueella. Säteilystä voidaan kohdistaa tooneriin pitkä aika ("radiant fusing") tai lyhyt välähdys ("flash fusing") Säteilyn aallonpituus vaihtelee 500 nm:n ja 10  $\mu\text{m}$ :n välillä. Säteilyn lähteenä käytetään usein xenon- tai wolframi-halogeenilamppuja. Ongelmana säteilykiinnityksessä on etenkin värillisillä toonereilla ollut niiden matalampi säteilyn absorptio verrattuna mustaan tooneriin. Myös eriväristen toonereiden säteilyabsorptio vaihtelee. /23, 42, 46/

Ennen seuraavan kierroksen varausvaihetta reseptorin pinta puhdistetaan siihen jääneistä tooneripartikkeleista ja varauksista valotuksen ja mekaanisen käsittelyn tai sähkökentän avulla. /27, 29, 42/



## 3 TULOSTUSLAATU

### 3.1 Elektrofotografian yleinen laatu

Elektrofotografiassa on pitkään pyritty laadussa samalle tasolle offset-painatuksen kanssa. Nestemäistä tooneria käyttävät laitteistot pystyvät jo offsetlaatuun, mutta pulveritoonerien partikkelikoko ei ole tähän asti riittänyt vastaavaan. Erityisesti kohina on vaikeuttanut riittävän laadun saavuttamista. /56/

Tulostus- ja painolaatuun vaikuttavat prepress-vaiheen, käytetyn ohjelmiston ja laitteiston lisäksi käytetyt materiaalit eli yleensä tooneri ja paperi. Paitsi resoluutioon materiaalien yhteiskäyttäytyminen vaikuttaa myös sävyalueeseen ja värikylläisyyteen. Paperin ja toonerin väliset vuorovaikutukset ovat myös tärkein tekijä mikromittakaavaisten tunnuslukujen eli rasteripisteiden ja viivojen laadun syntymiseen. Jos materiaalit eivät ole yhteensopivia, saattaa seurauksena olla alhainen tulostuslaatu, vaikka muut tekijät olisivat kunnossa. /1, 10, 26, 27/

### 3.2 Pienten yksityiskohtien laatu

#### 3.2.1 Pisteenviäminen

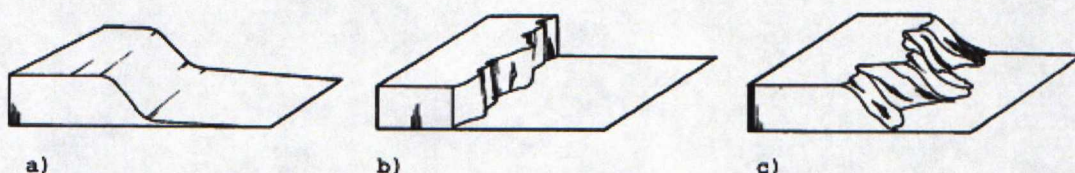
Piste on digitaalisen kuvan minimielementti. Käytettävästä valotuksesta riippuen piste voi olla muodoltaan pyöreä tai elliptinen. Pistettä arvioidaan paitsi sen muodon myös sen halkaisijan pituuden perusteella. Yhden pikselin kokoisen pisteen halkaisija on pienin toistettava yksityiskohta ja täten määrää lopullisen resoluution. Pisteenviäminen on laatua heikentävä ilmiö. Pisteenviämistä tapahtuu toonerin sulamisen aiheuttaman leviämisen seurauksena, jolloin paperille tulostettu piste on fotojohteelle valotettua suurempi. Myös paperi vaikuttaa pisteenviämisen määrään. Pisteenviäminen lisääntyy lineaarisesti kiinnitykseen käytetyn energian lisääntymisen kanssa. /23, 24, 25, 62/

Fyysisen pisteenviämisen ohella piste leviää optisesti. Tämä myös Yule-Nielsenin ilmiöksi kutsuttu tapahtuma ei todellisuudessa kasvata pistettä fyysisesti vaan luo pisteen ympärille varjon, joka antaa vaikutelman todellista suuremmasta pisteestä. Valon sivusuuntainen siroaminen aiheuttaa optisen pisteenviämisen ja vaikuttaa myös reunojen terävyyden havaitsemiseen. Papereiden optisen pisteenviämisen vaikutus on noin 20-50 $\mu$ m lisäystä pisteen halkaisijaan. Sivusuuntainen valon siroaminen on suurta etenkin päällystämättömillä papereilla. /14, 41, 44, 72/

#### 3.2.2 Reunakohina ja -profiili

Viiva on yksi digitaalisen tulosteen muodostumisen perusrakenteista. Viiva muodostuu pisteistä ja siksi kapein mahdollinen viiva on yhtä leveä kuin pienimmän yksittäisen pisteen halkaisija. Viivan ja sen reunan terävyys on tärkeä kuvan kokonaisterävyyteen vaikuttava tekijä. Viivan terävyys voidaan jakaa kahteen siihen vaikuttavaan tekijään: epäterävyyteen ("blur") ja rosoisuuteen ("raggedness"). ISO-13660 standardin /5/ mukaan rosoisuus on reunan geometristä poikkeamaa ideaalista reunasta tangenttitasossa ja epäterävyys normaalitasossa. Kuvassa 2 on esitetty epäterävyyden ja rosoisuuden eroa. /13, 16, 24, 25, 26, 39/





**Kuva 2.** Reunan epäideaalinen normaaliprofiili (a), tangentialiprofiili (b) ja edellisten yhdistelmä (c) /39/

Elektrofotografiassa on tyypillistä, että reunoissa ja viivoissa esiintyy kohinaa eli rosaisuutta. Tämä johtuu reunan pisteiden leviämisestä ja tooneripartikkeleiden epätasaisesta sijoittumisesta sekä siroamisesta reuna-alueen ulkopuolelle. Myös paperin epätasaisuus aiheuttaa kohinaa; kuidut ja muut epätasaisuuden tulevat esiin kiinnityksessä toonerin penetroitessa niiden väleihin. Tasaisillakin päällystämättömillä pinnoilla kohinaa syntyy toonerin vuotaessa kuitujen suuntaisesti reunojen yli. Reunakohina on yksityiskohtien toistokykyä heikentävä tekijä. /26, 44, 56, 62/

Värialueiden reunojen terävyyttä kuvataan myös reunan profiilin avulla. Profiililla voidaan ilmaista matkaa eli pikselien määrää, jolla muutos painamattomasta pinnasta painettuun tapahtuu kohtisuorassa rajaa vasten. Matkaa nimitetään nousuajaksi. Kuvissa esiintyvien reunojen terävyyden toistuminen on kuvan visuaalisen informaation toistumisen kannalta tärkeää. /17, 18, 26/

### 3.3 Tulostettavan kuvan vaikutus laatuun

Resoluutio on yleisesti ottaen tärkein non-impact -tulostuksen laatutekijä. Nimellisellä resoluutiolla kuvataan yleensä tulostuslaitteiden yksityiskohtien toistokykyä. Resoluutio määritellään nimellisen pikselikoon käänteisarvona yksiköissä yksikköä tuumassa (dots per inch; dpi, lines per inch; lpi) tai millimetrissä (lines per mm; lpmm) /42, 48/:

$$p = \frac{25400}{r}, \quad (1)$$

jossa p= pikselikoko (μm) ja

r= resoluutio(1/").

Yksivärinen tulostin pystyy tulostamaan vain yhtä väriä muiden alueiden jäädessä painopinnan värisiksi, siksi eri värisävyt kuvassa tulee rasteroida. Rasterin linjatiheys kuvaa kuva-elementtien määrää pituusyksikössä eli se määrittää pikselimatriisin koon. Mitta ilmaistaan joko viivoina senttimetriä (lpcm) tai tuumaa (lpi) kohti. Linjatiheys riippuu nimellisestä resoluutiosta. Mitä korkeampi resoluutio, sitä tiheämpiä pikselimatriiseja voidaan tulostaa. Tiheillä pikselimatriiseilla saadaan aikaan parempi yksityiskohtien toistokyky. Suurilla pikselimatriiseilla pystytään myös toistamaan enemmän värisävyjä. /27, 48/



Kun digitaalisen tulostus- tai painolaitteen resoluutio on riittävän korkea eli yksittäinen tulostuspikseli riittävän pieni, on paperin pinta yksityiskohtien toistokyvyn määräävä tekijä. Myös käyttämällä perinteisen amplitudimoduloidun ("AM") rasteroinnin sijasta taajuusmodulointia ("FM") eli stokastista rasteria, voidaan tulostuslaatua parantaa. Stokastisella rasteroinnilla on mahdollista saavuttaa AM- rasterointia parempi yksityiskohtien toistokyky, sillä siinä voidaan varioida vakiokokoisten pisteiden välisiä etäisyyksiä ja tiheyttä, kun AM-rasteroinnissa pisteen koko muuttuu ja paikka pysyy vakiona. /27, 29, 42/

### 3.4 Valotuksen vaikutus laatuun

Valotus eli latentin kuvan muodostaminen fotojohteelle vaikuttaa suoraan resoluutioon. Kuva muodostetaan yleisimmin lasersäteen tai LED-rivistön avulla. Resoluutio määräytyy näiden valonlähteiden ominaisuuksien perusteella ja horisontaalisen sekä vertikaalisen osoitettavuuden perusteella. Horisontaalisen osoitettavuuden tarkkuus määräytyy lasersädetä poikkeuttamalla joko suoraan tai peilin avulla. LED rivistössä tarkkuuden aikaansaa valojen tiheys rivistössä ja yhden valon koko. Vertikaalinen osoitettavuus muuttuu rummun pyörimisnopeuden vakiollisen tasaisuuden mukaan. /27, 33, 42/

Myös lasersäteen koko ja muoto vaikuttavat tarkkuuteen. Erityisesti yli 1200 dpi:n resoluutioon pyrkivillä laitteilla ongelmaksi on muodostunut riittävän tarkkojen lasereiden puute. Laserspotin koko on liian suuri verrattuna yksittäisen pikselin kokoon. Niinpä säteitä joudutaan pienentämään kalliiden ja tilaa vievien linssijärjestelmien avulla, jolloin myös säteen osoitettavuus vaikeutuu. /27, 66/

### 3.5 Toonerikehityksen laatuvaikutukset

#### 3.5.1 Toonerityypit ja niiden koostumus

Tooneri on yksi tärkeimmistä osista elektrofotografiaprosessissa. Elektrofotografiassa käytetään sekä nestemäistä että kuivatooneria, joista tässä työssä on keskitytty kuivatooneriin. Pääsääntöisesti kaikki toimistokokoiset ja sitä pienemmät tulostimet käyttävät kuivatooneria. Nestetooneria käyttävien laitteiden resoluutio on jonkin verran edellä kuivatooneria käyttävistä, sillä niissä käytettävien pienempien partikkelien avulla saavutetaan parempi tarkkuus. Nesteessä pienten tooneripartikkeleiden ohjautuminen on hallitumpaa kuin pulverimuodossa. /8, 27, 42, 57/

Kuivatoonerit voidaan jakaa mono- ja kaksikomponenttitooneriin. Toonerit koostuvat hartsista ja vahasta, joita on yleensä 80-90 %. 5-10 %:a raaka-aineesta on pigmenttiä ja sähkövarauksen säätöaineita 1-3 %. Kaksikomponenttitoonerin avuksi tarvitaan lisäksi magneettisia kantajapartikkeleita. Monokomponenttitoonereissa toonerihiukkaset varautuvat kosketuksessa tulostimen kehitysyksikön osia vasten, kun taas kaksikomponenttitoonerin toonerihiukkasen varautuvat liikkeessä kantajapartikkeleita vasten. /27, 42, 57/

Aiemmin tooneripartikkelit on valmistettu jauhamalla, jolloin niiden muoto on kulmikas ja kokojakauma melko leveä. Uudella polymerisointiin perustuvalla menetelmällä on voitu valmistaa kokojakaumaltaan hyvin kapeita ja perinteisiä toonereita pienempipartikkelisia



toonereita. Niillä saavutettu tulostuslaatu on selvästi korkeampi. Näiden kemiallisten toonereiden hartsit ovat kuitenkin yleensä styreeni-akryylaattia, joka ei sovi nopeisiin laitteisiin. Styreeni-akryylin molekyyli­massa on niin suuri, ettei se kestä nopeiden laitteiden kehitysyksiköissä syntyvää rasitusta. Jauhamalla valmistetuissa toonereissa käytetty polyest­eri sen sijaan on kestävä ja soveltuu paremmin nopeisiin sovelluksiin. Siksi uudet kemialli­set toonerit eivät ratkaise koko tulostuksen ongelmaa, jauhamistapojakin on edelleen kehi­ tettävä. /8, 9, 57/

Monokomponenttitoonerit voivat olla joko magneettisia tai ei-magneettisia. Magneettisuus saadaan yleensä aikaan magneettisilla rautaoksidoilla. Koska rautaoksidit ovat melko tum­mia, voidaan niitä käyttää vain tummiin väreihin, eli yleensä mustaan tooneriin. Niinpä magneettisia toonereita käytetäänkin usein mustavalkoisissa tulostimissa ja ei-magneettisia CMYK-tulostimissa. Ei-magneettiset toonerit kulkevat kehitysyksikössä sähkökenttien avulla ja niitä käytetään vain verrattain hitaissa tulostimissa. /8, 27, 38, 42/

Väritulostimien lisääntyessä on kaksikomponenttitoonereiden käyttö lisääntynyt ja ottanut valta-aseman tulostintekniikassa. Kantajapartikkelien määrä verrattuna tooneripartikkelei­hin on pieni, sillä kantajapartikkelit pysyvät kehitysyksikössä ja niitä käytetään kehitykses­sä uudelleen ja uudelleen, kun taas toonerit siirtyvät fotojohteen kautta painoalustalle. Vaikka kantajapartikkeleita on määrällisesti vähemmän, on suuri osa toonerin painosta ja tilavuudesta kuitenkin kantajapartikkeleiden osuutta. /8, 27/

### 3.5.2 Toonereiden ominaisuudet tulostuksessa

Toonerin partikkelikoko vaikuttaa kuvan resoluution vain tiettyyn raja­an asti. Pienellä par­ tikkeli­koko­lla on mahdollista toistaa pienempiä yksityiskohtia, mutta samalla partikkeleiden hallittavuus heikkenee ja hajonta kasvaa. Partikkelikoon lisäksi partikkelin muoto vaikuttaa laatuun. Lähes pyöreät tooneripartikkelit saavat aikaan paremman yksityiskohtien toiston kuin täysin pyöreät tai epäsäännöllisen muotoiset partikkelit /71/. Hieman epäsäännöllisiä partikkeleita käytetään myös siksi, että ne on helpompi puhdistaa fotojohteen pinnalta /57/. Kuivatoonerin hallittava partikkelikoko on tällä hetkellä 5-10 µm. Nestemäisillä toonereil­la pienetkin partikkelit pystytään kohdentamaan paremmin liuottimen mukana, jopa 1 µm:n kokoisia tooneripartikkeleita käytetään. Kiinnityksessä tooneripartikkeli leviää pis­ teeksi paperilla. Kuivatoonerilla pienin tulostettu piste on halkaisijaltaan 5-10 µm ja nes­ temäisellä toonerilla 1-3 µm. /8, 27, 45/

Kehityksessä tooneripartikkelit pitäisi siis saada siirtymään varauskuvion osoittamille pai­ koille täsmällisesti. Tämä edellyttää partikkeleilta tasaista ja mahdollisimman kapeaa ko­ ko- ja varausjakaumaa. Halutun partikkelin varauksen kanssa vastakkaismerkkisten toone­ ripartikkeleiden on havaittu aiheuttavan kehitysvaiheessa runsaasti taustakohinaa. ”Vää­ ränmerkkisten” toonereiden määrää vähennetään nostamalla keskimääräistä varaus/massa - suhdetta. Vääränmerkkisten toonereiden määrän on havaittu vaikuttavan laatuun enemmän kuin tooneripartikkeleiden koon. /37, 42, 56, 67/

Myös toonerit, jotka eivät varaudu kehitysyksikössä tai saavat vain hyvin pienen varauksen aiheuttavat ongelmia siirrossa. Näistä tooneripartikkeleista syntyy ikään kuin pölyä, joka



leijuu mihin sattuu painoalustalla ja synnyttää näin taustakohinaa paitsi tulostettavien koh-  
teiden läheisyyteen myös täysin tulostamattomille pinnoille. /55/

## 3.6 Paperin ominaisuudet tulostuksessa

### 3.6.1 Paperin ajettavuus

Elektrofotografisessa tulostuksessa käytetyt paperit ovat yleensä puuvapaita päällystämät-  
tömiä hienopapereita, mutta etenkin väritulostuksessa käytetään myös päällystettyjä pape-  
rilajeja. Korkeampaan laatuun pyrittäessä käytetään päällystettyjä papereita. Erilaisilla  
päällysteillä saavutetaan erilaisia pintakemiallisia ja sähköisiä ominaisuuksia. Elektrofoto-  
grafinen tulostusprosessi asettaa paperille vaatimuksia, jotka voidaan karkeasti jaotella  
kahteen pääalueeseen; paperin ajettavuuteen ja painettavuuteen. Papereissa voidaan val-  
mistaa sen toiminnallisuutta painotapahtumassa osissa; pohjapaperi voi olla suunniteltu  
pääosin hyvää ajettavuutta varten ja päällyste hyvää painolaatua varten. /7, 28, 36, 64/

Paperin ajettavuus tulostimessa ei ole uusi eikä pelkästään lasertulostusprosessiin liittyvä  
asia. Myös perinteisemmät kopiokonetekniikat vaativat paperilta etenkin jäykkyyttä, jotta  
se ei rypisty ja käyristy koneessa ja aiheuta tukoksia. Toisaalta taas liian jäykkä paperi ei  
taivu tulostimen sisällä. Paperin jäykkyys on riippuvainen paperin neliömassasta. Neliö-  
massan noustessa myös paperin paksuus kasvaa. Tällöin paperin kyky ylläpitää varausta  
paranee ja toonerin siirto fotojohteelta paperiin helpottuu. /1, 28, 34, 35, 42/

Muutkin paperin fyysiset ominaisuudet vaikuttavat ajettavuuteen. Huono leikkaus aiheut-  
taa ongelmia paperin kulussa ja lisää pölyävyyttä. Kitkaominaisuudet vaikuttavat paperin  
kulkuun tulostimessa. Paperin epätasaisuus ja toispuoleinen kuivuminen esimerkiksi kiin-  
nitysnipissä aiheuttaa paperin taipumista. Erityisesti värillisissä ja kaksipuoleisissa tulosti-  
missa paperin mittapysyvyys on tärkeää. /1, 28, 34, 64/

### 3.6.2 Paperin vaikutus painatuksen ja tulostuksen laatuun

Paperin vaikutusta tulostuslaatuun on tutkittu paljon, mutta pääosin makromittakaavan ta-  
solla. Mikromittaista laatua elektrofotografiamenetelmällä on tutkittu melko vähän. Mik-  
romittaiseen laatuun vaikuttavat kuitenkin samat tekijät kuin muuhunkin laatuun. Rasteri-  
pisteiden ja viivojen toistuminen ja reunojen profiilit kertovat myös mikromittakaavassa  
laadusta.

Toonerin onnistunut siirtyminen paperille vaatii paperilta sopivat sähköiset ominaisuudet.  
Siirto onnistuu hyvin, jos paperi pitää varauksen tarpeeksi pitkään eli on resistiivinen. Li-  
ian johtava paperi ei pidä varausta tarpeeksi pitkään, jotta toonerin siirto onnistuisi ja johtaa  
täten huonoon optiseen densiteettiin. Liian resistiivinen paperi kerää itseensä varausta kul-  
jetuslaitteistossa ja saattaa aiheuttaa tukoksia. Sekä paperin pinta- että tilavuusresistiivisyys  
ovat tärkeitä. Pintaresistiivisyys auttaa tuottamaan hyvän tulostuslaadun ja tilavuusresistii-  
visyys ehkäisee varauksen kertymistä paperiin. Paperin resistiivisyys kasvaa eksponentiaa-  
lisesti sekä suhteessa paperin kosteuden lisääntymiseen että lämpötilaan. Toisaalta taas  
toonerin kiinnittymisen onnistumiseksi paperilla tulee olla riittävä lämmönjohtokyky. Hy-  
vien tulosten saavuttamiseksi paperin tulisi kuumentua nipissä nopeasti ja viiletä nopeasti



sen jälkeen, jotta kiinnittynyt tooneri ei tartu toisiin papereihin pinossa. Lämpö johtuu päälystettyyn paperiin paremmin kuin päälystämättöömään. /7, 31, 34, 49, 59, 60, 70/

Painettavuuteen ja painatuksen laatuun vaikuttaa eniten pinnan karheus. Sulanut tooneri leviää tasaisesti sileälle paperille ja näin saadaan mahdollisimman terävät ja selkeät painoelementtien rajapinnat. Sileys edistää myös toonerin kiinnittymistä, koska karhealla paperilla pintaenergia on suurempi ja toonerin adheesio heikkenee. Sanders et al:in /52/ tutkimuksen mukaan pintaenergia vaikuttaa ainoastaan toonerin kiinnittymiseen ja pysyvyyteen paperilla. Paperin huokoisuus vaikuttaa toonerin adheesioon, mutta etenkin lämmönjohtavuuteen paperissa. Matala huokoisuus on toivottavaa. /1, 28, 64/

Toonerin kiinnittyminen eli adheesio paperiin on yksi laatuun vaikuttavista tekijöistä. Kuten edellä on mainittu, vaikuttaa karheus ja sitä kautta pintaenergia adheesioon. Sipin /61/ tutkimuksen mukaan syntyvän toonerikerroksen rakenteeseen päälystetyillä papereilla vaikuttavat kalanteroimattomilla papereilla enemmän paperin fyysiset ominaisuudet ja kalanteroituilla taas kemialliset ominaisuudet. Toonerin adheesiota voidaan parantaa esikäsittelemällä paperia koronalangalla tai esipainamalla paperi. /30, 61/

Pitkään elektrofotografisten paperien tutkimuksessa korostettiin paperin vaaleuden vaikutusta painatuslaatuun. Tutkimuksessa /28/ ei kuitenkaan löydetty korrelaatiota vaaleuden ja painatuslaadun välillä. Kuitenkin etenkin väritulostuksessa ja –painatuksessa vaaleus lisää värin vaihtelualaa sekä kontrastia. Päälystyksellä ja paperin paksuuden lisäämisellä pyritään tuottamaan opasiteetiltaan korkeita tulostuspapereita, jotka ovat tarpeen etenkin kaksipuolisissa tulostuksissa. Myös paperin kiilto vaikuttaa lopputuotteen optiseen laatuun. /49/

### **3.7 Siirron ja kiinnityksen vaikutukset laatuun**

Toonerin siirto fotojohteelta paperille tehdään sähköisen kentän, puristuksen tai näiden yhdistelmän avulla. Suurimmat laadun heikkenemiset tapahtuvat juuri toonerin siirrossa. Eniten laadun heikkenemistä aiheuttavat kuva-alueen ulkopuolelle siirtyvät tooneripartikkelit ja sivusuuntaisen sähkönjohtumisen aiheuttama tooneripartikkeleiden leviäminen. Kuvalaadun heikentymistä aiheuttaa myös toonerin huono siirtyminen, joka heikentää erityisesti densiteettiä. Siirtymisen tehokkuus riippuu käytetystä jännitteestä. Tarvittavaan jännitteeseen taas vaikuttavat muut prosessitekijät kuten käytetyt materiaalit. /3, 42, 47/

Kiinnityksessä tooneri saadaan sulamaan ja kiinnittymään osittain penetroitumalla paperiin yleensä termomekaanisin keinoin. Kuumaa nippiä käytetään yleisesti toimistolaitteissa ja säteilykiinnitystä rainakoneissa. Kiinnityksessä, jossa käytetään nippiä, prosessin muuttujina ovat lämpötila, paine ja puristusaika. Kiinnityksessä on tärkeää, ettei tooneria tartu kiinnitysnippiin. Säteilykiinnityksessä muuttujina voivat olla aallonpituus, säteilytysaika ja joskus lämpötila. /6, 23, 63/

Kuuma nippi on kiinnitysmenetelmistä yleisimmin käytetty ja monien tutkimusten mukaan kuumia teloja käyttämällä saadaan aikaiseksi parempi optinen laatu kuin säteilykiinnityk-



sellä tai muilla kontaktittomilla menetelmillä. Nippikiinnityksen ongelmana on toonerin kalanteroitumisefekti eli paperin kiillottuminen karhean paperin huippujen kohdalta. Monet nippikiinnitystä ja kontaktitonta menetelmää yhdistävät tekniikat tarjoavat lupaavia tuloksia. Säteilykiinnitystä tai muuta kontaktitonta menetelmää yhdistäen voidaan mm. vähentää nippien aiheuttamaa epätoivottavaa kiiltoa ja näin tasoittaa kiillon vaihtelua kuvasa. /2, 19, 62, 63/

Reunakohina ("edge raggedness") pienenee kiinnityksen aikana, koska silloin osa sironneista partikkeleista yhdistyy kiinni viivaan. Säteilykiinnityksellä kuvaan jää enemmän sekä täyspeitteisten alueiden että viivojen kohinaa. Optimaalinen telojen lämpö riippuu paljon paperista. Päälystetyille paperille saadaan aikaan parempi laatu korkeilla lämpötiloilla (esim. 180 astetta), mutta vastaavalla lämpötilalla päälystämättömän paperin kuvanlaatu on heikompi kuin matalammilla lämpötiloilla. Tämä johtuu toonerin penetroitumisesta kuitujen väliin ja kuiturakenteen tulosta näkyviin. /47, 62, 63/

Nippimenetelmää käyttävissä kiinnitystavoissa on havaittu telojen päälystysmateriaalin vaikuttavan kiinnitykseen ja tulosteen laatuun. Kovalla päälysteellä aikaansaadaan kestävä tulostusjälki mutta vaatimukset paperin sileydelle ovat huomattavasti pehmeitä teloja korkeammat. Pehmeillä teloilla aikaansaadaan parempi laatu mutta jälki ei ole yhtä kestävä kuin kovilla teloilla kiinnitetty. /53, 54/

Kontaktittomissa menetelmissä voidaan käyttää kiinnitykseen matalampaa energiamäärää kuin nippimenetelmässä. Esimerkiksi säteilykiinnityksessä suurin osa energiasta absorboituu tooneriin eikä juuri lainkaan paperiin, jolloin energiaa kuluu vähemmän. Samoin osat kuluvat vähemmän kuin kontaktikiinnityksessä. /19, 46/



## 4 TULOSTUSLAADUN OBJEKTIIVINEN MITTAAMINEN

### 4.1 Yleistä

Tulostuslaatua voidaan mitata objektiivisesti kuvaamalla tulostetta ja laskemalla kuvasta tiettyjä ominaisuuksia kuvaavia arvoja. Modulaationsiirtofunktioon perustuvaa kontrastinsiirtofunktiota on käytetty pitkään erotuskyvyn ja laadun perusmittana. Sen lisäksi ISO 13660 standardi määrittää parametreja, joilla voidaan arvioida tulosteen laatua. Standardi huomioi lähinnä yksiväristen tulosteiden mittoja. Koska pisteet ja viivat ovat tulosteiden peruselementtejä, arvioidaan tulostuslaatua niiden ominaisuuksien avulla. /7, 24. 43/

### 4.2 Dynaaminen alue ja kohina

Dynaaminen alue kuvaa tummuustasojen vaihtelua kuvassa. Mikroskaalassa dynaaminen alue ( $S$ ) eli kontrasti määritellään palkkikuvioista mitatun suurimman ja pienimmän densiteetin erotuksena taajuuden funktiona (kaava 2):

$$S(u) = D_{\max}(u) - D_{\min}(u) \quad (2)$$

jossa,

$D_{\max}$  on maksimidensiteetti ja

$D_{\min}$  on minimidensiteetti.

Dynaaminen alue riippuu voimakkaasti viivojen leveydestä eli palkiston taajuudesta. Pisteiden ja sitä kautta viivan leviäminen aiheuttaa dynaamisen alueen supistumista viivojen leveyden kaventuessa. Dynaaminen alue on voimakkaasti riippuvainen myös siirretystä toonerimäärästä ja sen aikaansaamasta peitosta paperilla. Myös toonerin valonabsorbtio-ominaisuudet vaikuttavat. Myös painettava pinta vaikuttaa; vaaleammalla paperilla on mahdollista saavuttaa suurempi dynaaminen alue kuin tummalla. /28, 43, 44/

Signaali-kohina-suhde on dynaamisen alueen johdannainen. Signaali-kohina-suhde ("SNR") määritellään kaavan 3 mukaan. /43, 44, 72/

$$SNR(u) = \frac{S(u)}{N(u)}, \quad (3)$$

missä

$S(u)$  on dynaaminen alue ja

$N(u)$  on densiteetin standardipoikkeama. /72/



### 4.3 Kontrastinsiirtofunktio

Kontrastinsiirto kuvaa tulokuvan ja syöttökuvan modulaatiofunktioiden suhdetta. Kontrastin- ja modulaationsiirto ja niiden johdannaiset ovat systeemiteoreettisia kuvan laadun mittoja. Nimitystä kontrastinsiirtofunktio ("Contrast Transfer Function", "CTF") käytetään testikuvion ollessa palkkikuvio ja nimitystä modulaationsiirtofunktio, kun testikuva on sinimuotoisesti vaihteleva kuvio. Kontrastinsiirtofunktio lasketaan kaavan 4 mukaan: /44/

$$CTF = \frac{M_{out}}{M_{in}} = CT(u). \quad (4)$$

Kaavassa 4 esiintyvät M-funktiot saadaan kaavasta 5:

$$M = \frac{D_{\max}(u) - D_{\min}(u)}{D_{\max}(u) + D_{\min}(u)}. \quad (5)$$

Kuvan terävyyttä voidaan tutkia modulaation perusteella, sillä funktio ennustaa viivojen, fonttien ja rasteripisteiden reunaprofiilin jyrkkyyden muodostumista. Erityisesti mikromittaista laatua tutkitaan mittaamalla palkkikuvion kontrastinsiirtofunktio. Testikuvassa on useita eri taajuudella painettuja palkistoja, jotka muodostuvat saman levyisistä painetuista ja painamattomista pinnoista. Näin kontrastinsiirtofunktiota voidaan mitata taajuuden funktiona. Värin fyysisen ja optisen leviämisen takia painojäljen densiteetti pienenee ja paperin kasvaa taajuuden kasvaessa. Silloin CTF:n arvo pienenee. Hyvällä painokoneella CTF:n arvo siis säilyy korkeana korkeillakin palkkitaajuuksilla. /42, 44/

### 4.4 Viivan karakterisointi

Tulosteen yksityiskohtien toistokykyä voidaan tutkia myös laskemalla pienin erottuva yksityiskohta ja erilaisia mittoja reunojen ja viivojen ominaisuuksista. Myös rasteripisteiden muotoa ja ominaisuuksia voidaan mitata mutta tässä työssä keskityttiin viivapalkkien ominaisuuksiin, koska rasteripisteitä on tutkittu muissa tutkimuksissa jo paljon. /51, 72/

Viivasta voidaan mitata mm. viivan leveyttä, rosoisuutta eli reunan tangentiaalista profiilia ja terävyyttä eli viivan normaalinsuuntaista profiilia. Viivan leveys kuvaa viivan keskiarvoista leveyttä. Epäselvä viiva kasvattaa viivanleveyden arvoa. Viivan rosoisuus kuvaa todellisen viivan reunan eroa ideaalisesta reunasta. Ideaalinen viiva lasketaan piirtämällä parhaiten todellisen reunan pisteisiin sopiva viiva. Todellisen viivan reunapisteiden etäisyys ideaalisen viivan reunapisteiden etäisyydestä on rosoisuuden mitta. Rosoisuudella voidaan parhaiten kuvata toonerin imeytymistä viivan reunoilla kuitujen suuntaisesti yli reunan. /13, 26/

Tulostimen kyky toistaa viivapalkkeja riippuu tulostimen resoluutiosta. Jos laitteen resoluutio on hyvä, se voi toistaa erottuvasti hyvinkin kapeita viivapalkistoja. Heikommalla resoluutiolla varustetulla laitteella kapeat viivastot eivät erotu, vaan menevät tukkoon joko osin tai kokonaan. Resoluutio saattaa alentua toonerien siroamisen tai viivan leviämisen takia. /26/



## 5 AINEISTO, LAITTEET JA KOKEIDEN TOTEUTUS

### 5.1 Koesuunnitelma

Koesuunnitelma laadittiin siten, että voitiin vertailla erilaisten paperipintojen ja toonereiden vaikutusta yksityiskohtiin. Koeasetelman muuttujiksi valittiin paperi, valotuksen määrä, tooneri sekä kiinnityslämpötila. Testikuva suunniteltiin KCL:ssä ja siihen liitettiin mikromittaisten elementtien tutkimiseen sopivia viivapalkistoja. Paperien ominaisuudet mitattiin muiden tutkimusten yhteydessä KCL:ssä. Taulukossa 1 on esitetty paperi- ja painatusmuuttujat. Testikuva tulostettiin tutkimuspaperille ja referenssipaperille KCL:ssä. Tämä tulostussuunnitelma toteutettiin kolmelle valitulle toonerille. Kustakin koepisteestä tulostettiin kolme rinnakkaisnäytettä.

**Taulukko 1. Koepainatussuunnitelma ja koepisteiden nimeäminen**

	Paperi	Toonerimäärä, %			Kiinnityslämpötila, °C	
		50	70	100	130	150
1	Cat.SS	1a1	1a2	1a3	x	
	Cat.SS	1a4	1a5	1a6		x
2	Cat.SS80	1b1	1b2	1b3	x	
	Cat.SS80	1b4	1b5	1b6		x
3	Cat.SS160	1c1	1c2	1c3	x	
	Cat.SS160	1c4	1c5	1c6		x
4	Ref03	r1	r2	r3	x	
	Ref03	r4	r5	r6		x
5	PCC	3a1	3a2	3a3	x	
	PCC	3a4	3a5	3a6		x
6	PCC80	3b1	3b2	3b3	x	
	PCC80	3b4	3b5	3b6		x
7	PCC160	3c1	3c2	3c3	x	
	PCC160	3c4	3c5	3c6		x
8	PCCh	5a1	5a2	5a3	x	
	PCCh	5a4	5a5	5a6		x
9	PCCh80	5b1	5b2	5b3	x	
	PCCh80	5b4	5b5	5b6		x
10	PCCh160	5c1	5c2	5c3	x	
	PCCh160	5c4	5c5	5c6		x

Kaikki toonerit olivat väriltään syaaneja. Kuvat testikentistä otettiin mikroskoopin ja digitaalikameran yhdistelmällä. Alkuperäistä koepisteiden määrää jouduttiin rajoittamaan esitestin avulla kuvien ottamisen osoittaututtua ennakoitua hitaammaksi. Kuvista mitattiin erilaisin analyysein kontrastinsiirtofunktiota, viivan leviämistä ja viivan terävyyttä. Näistä rinnakkaistuloksista laskettiin keskiarvot ja hajonnat.

### 5.2 Paperit

Tutkimukseen valittiin kolme pilottipaperia, jotka valmistettiin pintakäsittelmällä ja päällystämällä pohjapaperia. Päällystys suoritettiin KCL:n OptiSizer filmicoaterilla, jonka no-



peus oli 800 m/min. Yksi testipapereista pintaliimattiin käyttäen kationista tärkkelysdisper-siota. Kaksi paperia päällystettiin PCC-päällysteellä, joista toiseen oli lisätty hydrofobista lisäainetta. Hydrofobisella lisäaineella muokattiin paperin pintaenergiaa. Päällysteiden re-septit ja päällystemäärä on esitelty taulukossa 2. CatSS on pintaliimattu paperi, PCC pääl-lystetty ja PCCh hydrofobisella päällysteellä päällystetty.

**Taulukko 2. Pilottipapereiden päällysteet ja päällystemäärät**

	CatSS	PCC	PCCh
Kationinen tärkkelys	100		
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> *10H <sub>2</sub> O	10		
PCC		100	100
SB Lateksi		10	10
CMC		0,5	0,5
Raiprint			6
Määrä (g/m <sup>2</sup> )	2/2	10/10	10/10

Kaikki kolme pilottipaperia kalanteroitiin kolmella eri lämpötilalla KCL:n OptiLoad pilot-tikalanterilla. Kalanterin linjakuorma oli 140 kN/m ja nopeus 700 m/min. Kalanterointi-lämpöinä käytettiin 80, 120 ja 160 °C. Näistä valittiin kolme eri sileystasoa tähän tutki-mukseen, kalanteroimaton ja kalanteroinnin ääripäät eli 80 ja 160 °C:ssa kalanteroidut pa-perit. Kalanterointiaste on ilmaistu paperin tunnuksessa lämpötilamerkinnällä. Paperit py-rittiin valmistamaan sähköisiltä ominaisuuksiltaan mahdollisimman samankaltaisiksi, joten tärkeimmät muuttujat paperien ominaisuuksissa olivat karheus ja päällystys tai päällystä-mättömyys. Kaikki pilottipaperit leikattiin A4-kokoon tulostusta varten.

Referenssipaperi oli kaupallinen kopiopaperi ja se on merkitty tunnuksella Ref. Papereista mitattiin perusominaisuuksien lisäksi resistiivisyyttä ja lämmönjohtumista. Papereiden pe-rusominaisuudet on esitelty taulukossa 3 ja resistiivisyys, pintaenergia ja lämmönjohtoky-ky taulukossa 4.

**Taulukko 3. Käytettyjen papereiden perusominaisuudet**

Paperi	Neliöpaino	Paksuus	Karheus
	g/m <sup>2</sup>	µm	Print Surf S10 µm
CatSS	92,1	135	>6
CatSS80	90,2	100	3,50
CatSS160	91,4	93,6	2,50
Ref	80,4	100	>6
PCC	109	120	4,20
PCC80	109	107	2,50
PCC160	109	104	2,15
PCCh	109	120	5,45
PCCh80	109	107	3,15
PCCh160	109	103	2,50

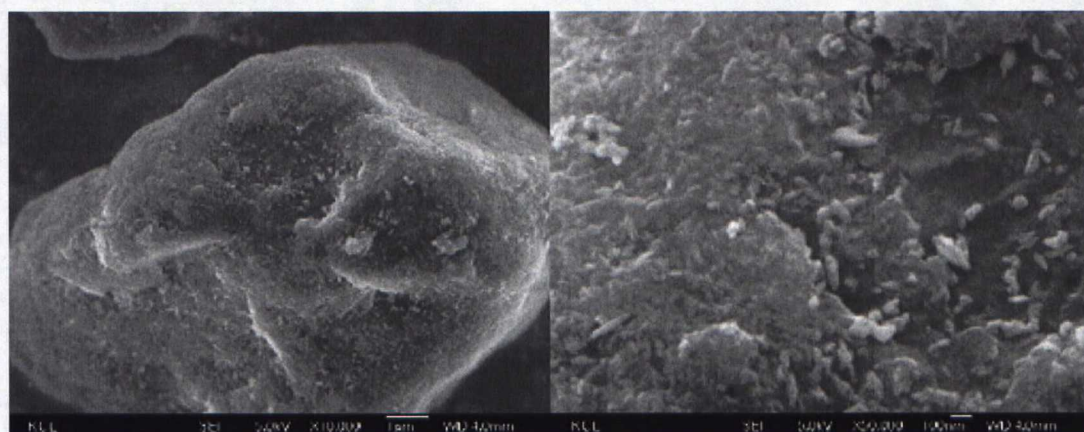


**Taulukko 4.** Käytettyjen papereiden resistiivisyydet, pintaenergia ja lämmönjohtavuus

Paperi	Pintaresistiivisyys		Tilavuusresistiivisyys		Pinta-energia		Lämmön johtavuus
	Varausaika: 30 s Jännite: 100 V, DC		Varausaika: 30 s Jännite: 100 V, DC				
	$\Omega$	std	$\Omega \cdot \text{cm}$	std	[mJ/m <sup>2</sup> ]	std	
Cat.SS	2,05E+11	1,68E+11	3,47E+11	2,35E+10	36,78	0,75	1,66E-07
Cat.SS80	1,07E+12	6,81E+11	6,40E+11	7,38E+10	39,48	0,82	3,27E-07
Cat.SS160	1,62E+12	5,23E+11	9,44E+11	5,41E+10	39,98	0,72	3,07E-07
Ref	5,70E+11	4,91E+10	1,42E+11	1,72E+10	27,39	0,75	3,72E-07
PCC	1,14E+11	4,73E+10	3,15E+11	3,43E+11	46,02	0,28	2,83E-07
PCC80	2,98E+11	1,82E+10	1,43E+11	1,69E+10	46,44	0,70	4,00E-07
PCC160	4,00E+11	6,44E+10	2,26E+11	2,83E+10	46,36	0,35	3,35E-07
PCCh	1,35E+11	5,25E+10	3,86E+11	1,33E+11	42,40	0,58	3,91E-07
PCCh80	2,75E+11	5,13E+10	3,03E+11	3,98E+10	41,97	0,73	3,29E-07
PCCh160	4,09E+11	1,00E+11	3,65E+11	2,26E+10	41,46	0,39	3,53E-07

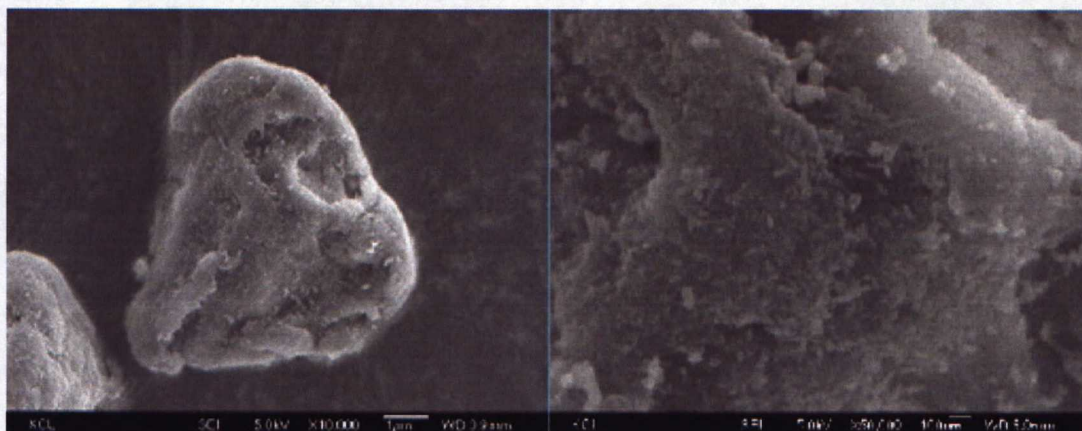
### 5.3 Toonerit

Tutkimuksessa käytettiin kolmea syaania tooneria. Kaksi toonereista valmistettiin tulostimen omasta TC1076-toonerista lajittamalla se kahteen osaan tooneripartikkeleiden koon perusteella. Näin saatiin aikaan toonerit ”coarse” ja ”fine”. Lajittamisen suorittanut laboratorio mittasi coarse-toonerin keskimääräiseksi partikkelikooksi 9,43  $\mu\text{m}$  ja fine-toonerin 7,32  $\mu\text{m}$  /4/. Vertailutoonerina käytettiin kemiallisesti valmistettua Xeroxin tooneria. Kuvissa 3, 4 ja 5 on käytettyjen toonereiden HR-SEM – kuvia, joista voidaan nähdä, että lajitettujen eli coarsen ja finen toonerin pinnalla ei ole pintahiukkasia ja että ne ovat hivenen kulmikkaita. Vasemmanpuoleisista kuvista, jotka on kaikki otettu 10000-kertaisella suurennoksella, voi selvästi erottaa tooneripartikkelien kokoeron.

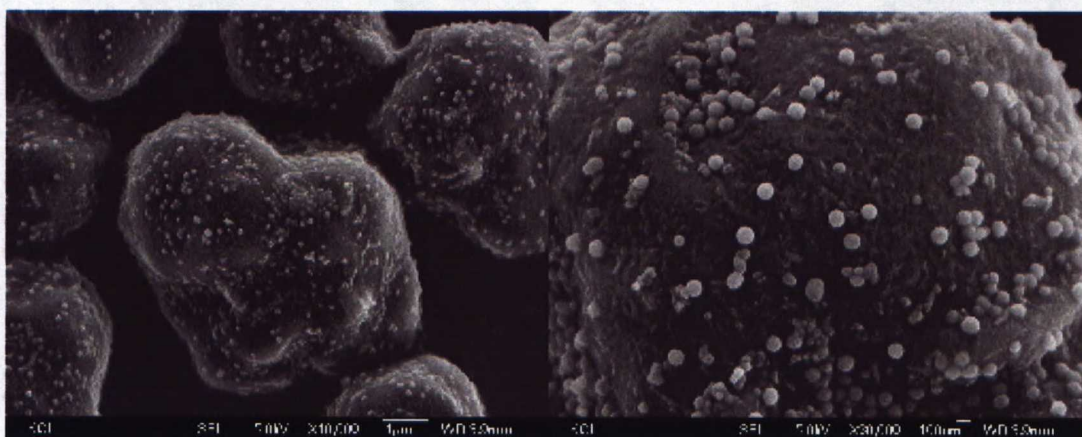


**Kuva 3.** Coarsen toonerin pintaa elektronimikroskoopilla kuvattuna, vasemmalla suurennus 10000-kertainen, oikealla pintarakennetta 50000-kertaisella suurennuksella





**Kuva 4.** Finen toonerin pintaa elektronimikroskoopilla kuvattuna, vasemmalla suurennus 10000-kertainen, oikealla pintarakennetta 50000-kertaisella suurennuksella



**Kuva 5.** Kemiallisen toonerin pintaa elektronimikroskoopilla kuvattuna, vasemmalla suurennus 10000-kertainen, oikealla pintarakennetta 30000-kertaisella suurennuksella

## 5.4 Testikuvan tulostus

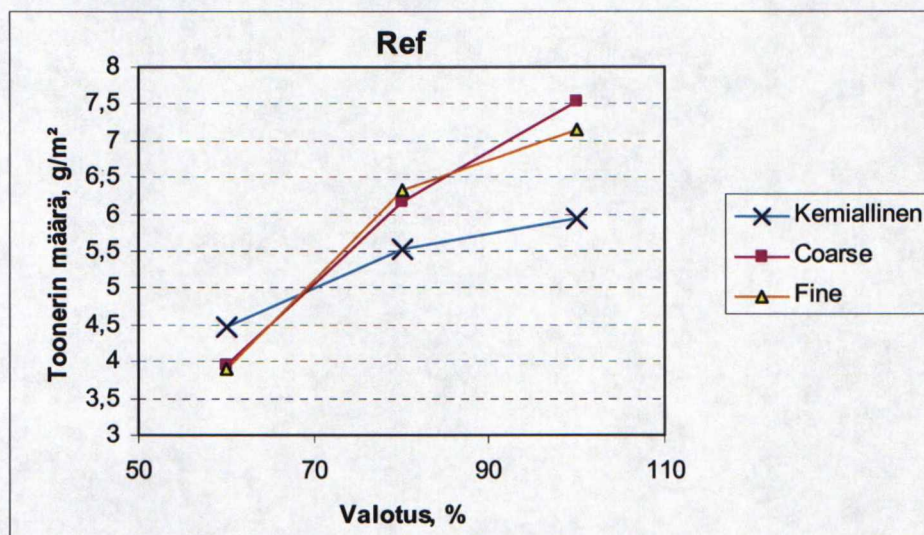
Testikuva suunniteltiin KCL:ssä. Kuvan resoluutio oli 600 dpi ja linjatiheys oli 85 lpi. Rasteripisteiden muoto oli pyöreä ja kulma 45°. Yhden A4-arkin kokoisessa testikuvassa oli rasteripiste-, täyspeite-, teksti-, reaaliokuva ja viivapalkkikenttiä, sekä yksittäisiä viivoja. Testikuva on esitetty liitteessä 1. Tässä tutkimuksessa käytettiin yksittäisiä viivoja ja viivapalkkikenttiä. Viivapalkkikenttiä oli kymmenen erilaista: viisi eri levyistä (leveydet yhdestä viiteen pikseliä) palkistoa saman levyisin välein sekä horisontaalisessa että vertikaalisessa suunnassa. Samoin yksittäisiä viivoja oli kumpaankin suuntaan.

Koetulostukset suoritettiin KCL-Duplo koetulostimella normaaliolosuhteissa. Duplo on Torrey Pines Researchin valmistava elektrofotografinen avoin tutkimustulostin, joka käyttää CAD-menetelmää, koronasiirtoa ja kuumatelakiinnitystä. Valmistaja ilmoittaa laitteen resoluutioksi 600 dpi:tä, mutta tutkimuksen /15/ mukaan tulostin tuottaa maksimissaan



vain 227 dpi:n resoluution. KCL Duplossa voidaan säätää mm. siirtojännitettä, prosessinopeutta ja kiinnityslämpöä.

Tulostuksessa käytettiin koronassa 3900 voltin kiinnitysjännitettä päällystämättömille papereille ja 3800 voltin päällystetyille papereille. Jokaisella kolmesta toonerista varioitiin toonerimäärää valotuksen avulla. Lyhentämällä valotusaikaa saatiin aikaan normaalia ohuempia toonerikerroksia paperilla. Toonerimäärä ilmaistiin prosentuaalisesti normaalin valotuksen olleessa 100 %. Kuvassa 6 on esitetty toonerien siirtyminen referenssipaperille eri valotusmäärillä.



**Kuva 6.** Toonerin siirtyminen eri valotuksilla referenssipaperille

Tässä työssä käytettiin 50, 70 ja 100 %:in valotuksen tuottamia toonerimääriä. Toonerin siirtymisen määrää kehitysyksiköstä paperille tarkkailtiin tulostamalla säännöllisin väliajoin erityinen testituloste, eli 10 cm\*10 cm kokoinen 100 %:in valotuksella ja 3700 voltin siirtojänniteellä tulostettu arkki, josta punnittiin siirtyneen toonerin määrä. Lisäksi kaikki koepisteet kiinnitettiin kahdella eri kiinnityslämmöllä: 130 asteessa ja 150 asteessa. Virhemarginaali kiinnityslämmölle oli 5 astetta ja lämpöä tarkkailtiin koko ajan, ettei se päässyt laskemaan virhemarginaalin alle. Arkit syötettiin tulostimeen käsin, sillä se oli nopeinta ja varmintä. Osa paperista oli niin liukkaita, että ne piti teipata kiinni siirtohihnaan, sillä muuten ne eivät olisi kulkeneet tulostimen läpi. Jokaisesta koepisteestä tulostettiin kolme arkkiä.

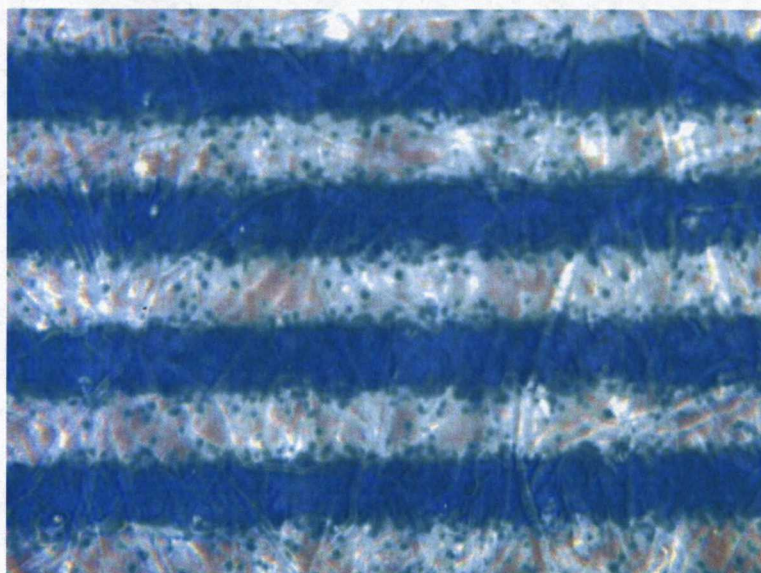
## 5.5 Kuvaus

Tutkittavat kentät kuvattiin TKK:n viestintätekniikan laboratoriossa tietokoneeseen liitettyä mikroskooppi-digitaaliskamerayhdistelmällä. Mikroskooppina käytettiin Olympus BH-2 läpivalaisumikroskooppia ja digitaaliskamera oli tietokoneeseen yhdistetty RT SE SPOT ohjelmistoinen. Mikroskooppia lämmitettiin puoli tuntia ennen mittausten aloittamista, sillä havaittiin, että tarkennus muuttui laitteiston lämmitessä. Kaikkien rinnakkaisarkkien kaikista kuvattavista kentistä otettiin kaksi kuvaa, jolloin jokaisen koepisteen koalueesta



saatiin kuusi rinnakkaiskuvaa. Kuvauksessa käytettiin 100-kertaista suurennusta. Tarkka suurennos saatiin kuvaamalla mikromitta samoilla asetuksilla tutkimuskuvien kanssa ja mittaamalla kuva-analyysiohjelmalla kuvasta pikselimäärä yhden millimetrin matkalta. Tämän vertailuluvun avulla saatiin mittaukset skaalattua metrijärjestelmän mitoiksi.

Jokaiselle paperilajille määritettiin ja tallennettiin valkotasapaino kameraohjelmiston avulla. Näin minimoitiin papereiden vaaleusvaihteluiden aiheuttamat erot dynaamiseen alueeseen ja kontrastiin. Kuvat tarkennettiin mikroskoopin okulaarin avulla manuaalisesti. Kuvat tallennettiin tietokoneohjelmiston kautta 24-bittisinä värikuvina. Kuvassa 7 on esimerkki otetuista kuvista jonkin verran pienennettynä. Kuva esittää neljän pikselin levyistä horisontaalia viivaa finella toonerilla 70 %:in valotuksella tulostettuna PCC-päällystetyllä kalanteroimattomalla paperilla.



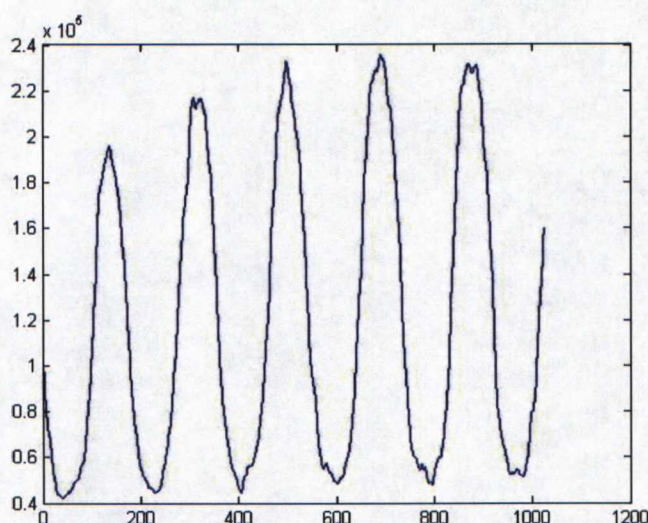
**Kuva 7.** Esimerkki otetuista kuvista, 4 pikselin levyinen horisontaali viiva finella toonerilla 70 %:in valotuksella tulostettuna PCC-päällystetylle kalanteroimattomalle paperille

## 5.6 Mittaukset

### 5.6.1 Kontrastinsiirtofunktion mittaaminen

Kontrastinsiirtofunktio mitattiin viivapalkistoista otetuista kuvista käyttäen Matlabin kirjoitettua ohjelmaa. Ohjelman Matlab-koodi on esitetty liitteessä 2. Ohjelma erottaa punaisen kanavan RGB-kuvasta; tällöin syyaaninvärinen viivasto erottui parhaiten. Saadusta mustavalkoisesta kuvasta piirrettiin käyrä poikkileikkkeen pikselin vaaleuden mukaan (kuva 8). Sovittamalla syntyvään käyrään sopiva sini-käyrä saatiin selville intensiteettiminimit ja -maksimit, joiden keskiarvosta ohjelma laski dynaamisen alueen ja kontrastinsiirtofunktion. Näistä arvoista piirrettiin kuvaajat dynaamiselle alueelle ja kontrastinsiirtofunktiolle.



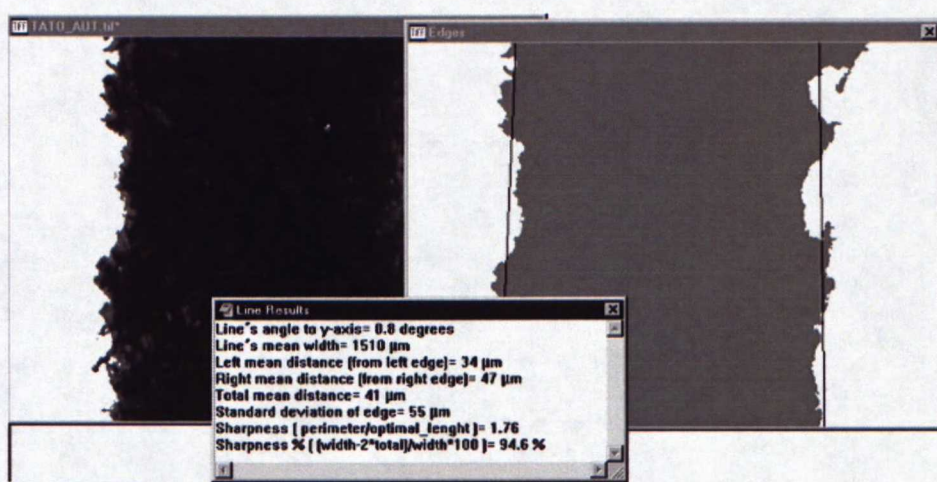


**Kuva 8.** Esimerkki Matlabilla tuotetusta intensiteettikäyrästä

### 5.6.2 Viivapalkin karakterointi

Viiden pikselin levyisistä viivapalkeista otetut kuvat käsiteltiin PhotoShop 6.0 -ohjelmalla ja niistä erotettiin yksittäisiä viivoja karakterointia varten. Tämän jälkeen niistä analysoitiin viivan leveys, reunakohina, rosoisuus ja terävyysprosentti Scion Image -ohjelmaan asennettujen makrojen avulla /50/.

Scion Image -ohjelmassa käytetty makro määrittää reunakohinan viivan reunan etäisyytenä viivan keskikohdasta. Rosoisuus määräytyy reunan pituuden suhteena ideaalisen reunan pituuteen. Jos mitattava viiva on täysin sileäreunainen, on rosoisuuden arvo yksi. Arvolla kaksi todellinen reuna on kaksi kertaa ideaalista reunanpituutta pidempi. Terävyysprosentti kertoo prosentuaalisesti, kuinka paljon viivapalkki muistuttaa ideaalista viivaa. Kuvassa 9 on ohjelman antama näkymä viivan mittaukseen. /50/



**Kuva 9.** Viivapalkin karakterointi Scion Image -ohjelmassa /50/



## 5.7 Esitesti ja sen tulokset

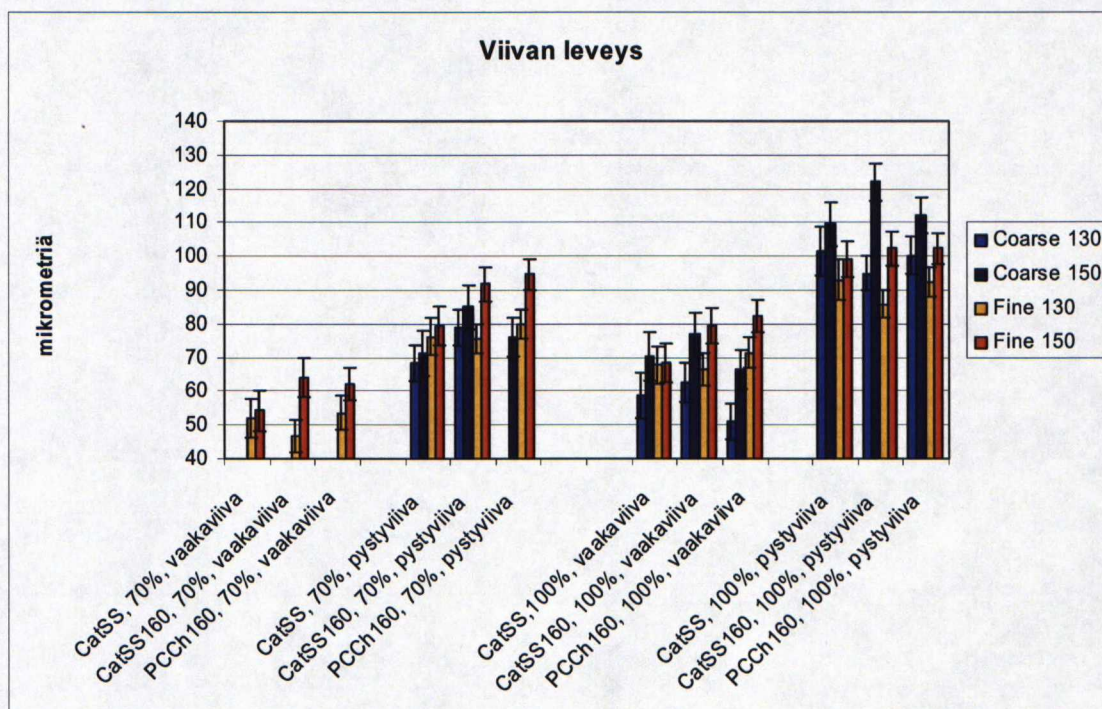
### 5.7.1 Tausta ja tavoitteet

Mikroskooppikuvausten käynnistyttyä kävi ilmi, että koealue oli liian laaja toteutettavaksi halutulla tutkimustavalla, koska kuvien ottaminen mitattavista kentistä oli hyvin hidasta. Koepisteitä haluttiin vähentää tutkimusalueen rajaamiseksi järkevän kokoiseksi. Päätettiin toteuttaa esitesti pienellä paperi- ja toonerijoukolla, jolla saatiin tutkittua kiinnityslämmön vaikutuksia viivoihin. Tavoite oli selvittää, voisiko toisen kiinnityslämpötilan jättää tutkimatta varsinaisessa tutkimuksessa. Tulostuksissa oli käytetty sekä 130 että 150 °C kiinnityslämpöä.

Esitestiin valittiin mukaan coarse ja fine tooneri toonerimäärillä 70 ja 100 %. Papereista otettiin mukaan kalanteroimaton pintaliimattu paperi (Cat.SS) ja 160 °C lämpötilassa kalanteroidut pintaliimattu ja hydrofobisella päällysteellä päällystetty paperi (Cat.SS160 ja PCCh160). Esitesti toteutettiin kuvaamalla yksittäisiä horisontaaleja ja vertikaaleja viivoja ja määrittämällä näistä Scion Imagen makroilla viivan ominaisuudet.

### 5.7.2 Tulokset ja toimenpiteet

Scion Imagen viivaa analysoiva makro vaatii, että viiva on jatkuva ja yhtenäinen. Osa yhden pikselin levyisistä viivoista oli pistemäisiä ja epäjatkuvia. Niinpä yhtenäistä esikoesarjaa ei voitu toteuttaa. Kuitenkin saatiin toteutettuja sarjoja, joista nähdään toonerin käyttäytyminen erilaisilla kiinnityslämmöillä. Yhtenäisistä viivoista mitattu viivan leveys on esitetty kuvassa 10.

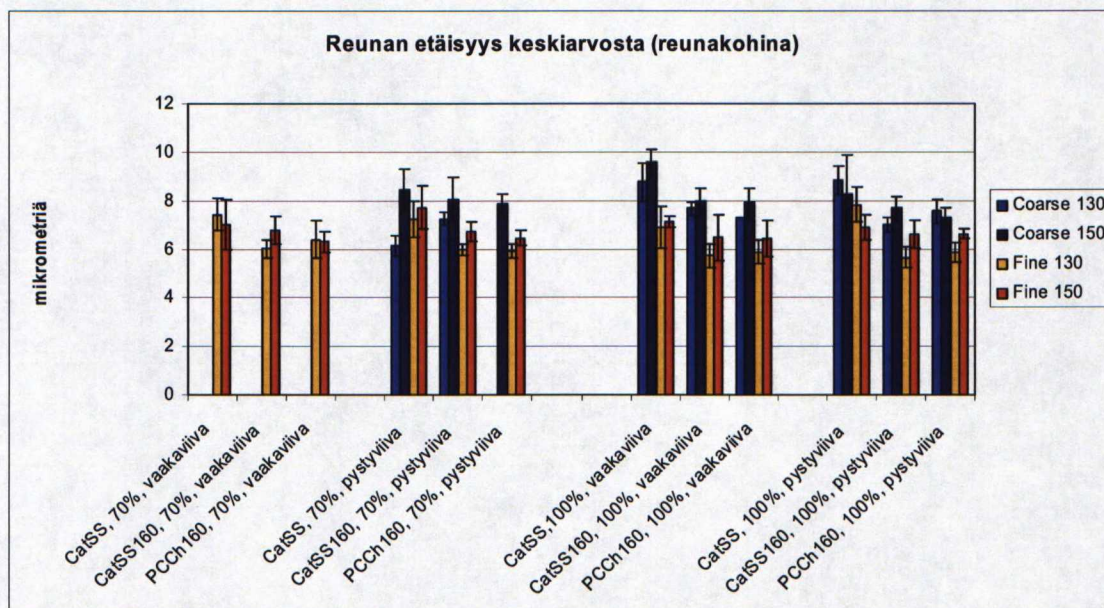


**Kuva 10.** Esitestin viivanleveydet eri kiinnityslämmöillä



Kuvasta 10 voidaan todeta, että 150 °C kiinnitys aiheuttaa suurempaa viivanleviämistä kuin 130 °C kiinnitys. Viivanleviämisen erot kiinnityslämmöillä ovat suurempia sileällä paperilla kuin karheapintaisella. Nämä tulokset olivat odotettavia. Korkeammalla lämmöllä tooneri leviää enemmän ja sileällä paperilla leviämiselle on vähemmän esteitä.

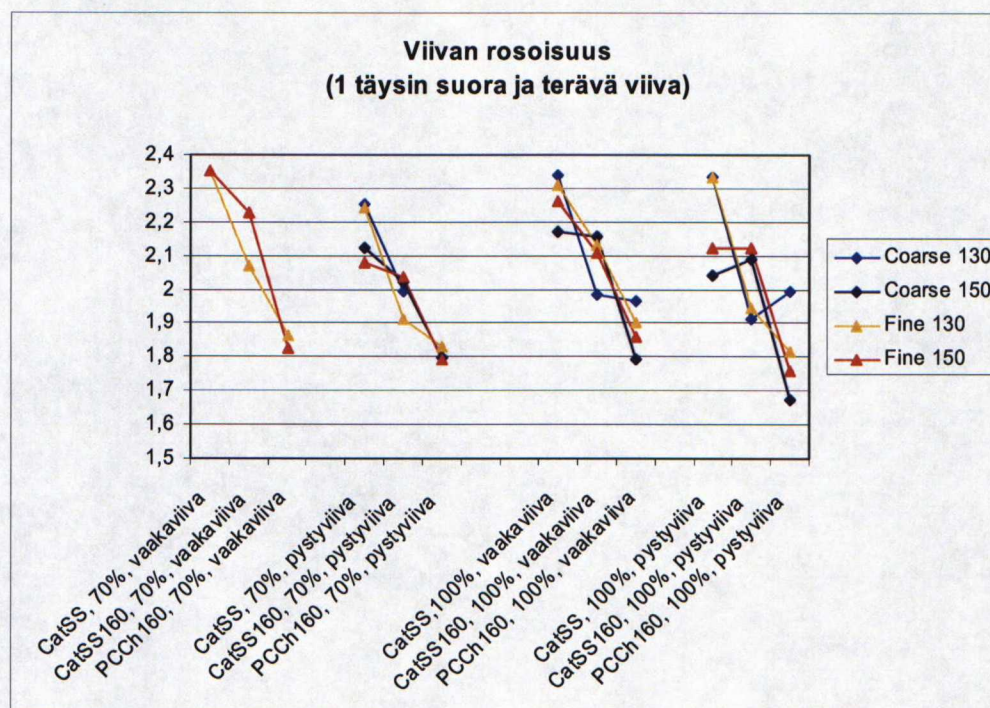
Kuva 11 esittää viivan reunan etäisyyttä keskiarvosta eli viivan reunakohinaa. Kuvasta nähdään, että coarsella toonerilla kohina on suurempaa kuin finella ja myös suurella osalla kuumemmalla kiinnitetyistä. Kuitenkaan kuvasta ei ole erotettavista selkeää erottavaa trendiä kiinnityslämpöjen välille.



**Kuva 11. Esitestin reunakohina eri kiinnityslämmöillä**

Kuvassa 12 on esitetty esitestiviivojen rosoisuus. Kuvasta on selvästi havaittavissa toisistaan poikkeava käyttäytyminen eri kiinnityslämpöjen välillä. Karhealla pintaliimatulla paperilla ja päällystetyllä paperilla rosoisuus on pienempää 150 °C:ssa kiinnitetyillä näytteillä. Sileällä pintaliimatulla paperilla vähäisempi kiinnitys tuo paremman tuloksen eli pienemmän rosoisuuden. Tämä johtuu siitä, että korkealla lämmöllä kiinnitetyissä päällystämättömissä näytteissä karhealla paperilla toonerin leviäminen vähentää paperin karheuden aiheuttamaa rosoisuutta, mutta sileällä paperilla se saa toonerin penetroitumaan niin syväälle, että osa kuiduista toonerin alla paljastuu. Päällystetyllä paperilla lisääntyvä lämpö vain levittää tooneria, jolloin syntyy tasaisempi reuna. Rosoisuuden syntymekanismi siis poikkeavat eri lämmöillä ja papereilla toisistaan.





**Kuva 12.** Viivan rosoisuusarvot eri kiinnityslämmöillä

Koska rosoisuuden ja siten myös reunakohinan synty ei ollut koko koealueella samoista syistä johtuvaa, ei voitu rajata pois toista kiinnityslämpöä sillä perusteella, että se tuottaisi paremman laadun. Matalampi kiinnityslämpö päätettiin kuitenkin rajata pois koealueesta, koska korkeampi lämpö, 150 °C, vastaa paremmin reaalisia tulostuslaitteita ja kiinnityslämmön vaikutuksen tutkiminen ei ollut tutkimusprojektin keskeisimpiä tavoitteita.

Lisäksi poistettiin ne koepisteet, joissa kapeimmat viivapalkistot eivät luopilla katsottaessa erottuneet lainkaan. Näistä olisi ollut mahdotonta saada tuloksia kontrastimittauksissa ja niinpä ne luokiteltiin makulatuuriksi ja poistettiin koesarjasta. Makulatuuria tuli eniten coarsella toonerilla, jossa viivanleviäminen oli suurempaa. Kemiallisella toonerilla ei makulatuuria tullut lainkaan.

Kaikkien poistojen ja rajoitusten jälkeen toteutettavaksi valittu koealue on esitelty taulukoissa 5, 6, ja 7 kullekin käytetylle toonerille erikseen. Kaikki varsinaiseen koealueeseen kuuluvat koepisteet kiinnitettiin 150 °C lämmöllä.



**Taulukko 5. Coarsen toonerin koepisteet**

Coarse tooneri		
Paperi	Toonerimäärä, %	
	70	100
CatSS	1a5	1a6
CatSS80		1b6
CatSS160	1c5	1c6
Ref		r6
PCC		3a6
PCC160	3c5	3c6
PCCh160	5c5	5c6

**Taulukko 6. Finen toonerin koepisteet**

Fine tooneri			
Paperi	Toonerimäärä, %		
	50	70	100
CatSS		1a5	1a6
CatSS80		1b5	1b6
CatSS160		1c5	1c6
Ref		r5	r6
PCC		3a5	3a6
PCC160	3c4	3c5	3c6
PCCh160	5c4	5c5	5c6

**Taulukko 7. Kemiallisen toonerin koepisteet**

Kemiallinen tooneri			
Paperi	Toonerimäärä, %		
	50	70	100
CatSS	1a4	1a5	1a6
CatSS80	1b4	1b5	1b6
CatSS160	1c4	1c5	1c6
Ref	r4	r5	r6
PCC	3a4	3a5	3a6
PCC160	3c4	3c5	3c6
PCCh160	5c4	5c5	5c6



## 6 TUTKIMUSTULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 6.1 Yleistä

Tässä luvussa on käsitelty testikuvista tehtyjen mittausten tuloksia. Kohdassa 6.2 käsitellään Matlabilla laskettuja dynaamisia alueita eri levyisissä viivapalkistoissa. Kappaleessa 6.2 on esillä myös Matlabilla laskettuja kontrastinsiirtofunktion arvoja ja niistä piirrettyjä kontrastinsiirtokäyriä ensin paperien aiheuttamien erojen suhteen ja sitten toonerin ja sen määrän aiheuttamien erojen suhteen tarkasteltuna. Virherajoja ei ole esitetty dynaamista aluetta ja kontrastinsiirtofunktiota kuvaavissa kuvaajissa, jotta kuva säilyisi selkeänä. Pääosin virherajat olivat tehdyissä mittauksissa hyvin pieniä, vain hieman suurempia kuin viivamerkki. Kaikki erot, jotka kuvaajien välillä voidaan havaita esitetyistä kuvista ovat merkitseviä virherajojen ollessa näin pieniä. Kappaleessa 6.3 on esitetty viiden pikselin viivastosta eristetyistä viivoista mitatut viivan ominaisuudet, jotka mitattiin Scion Image -ohjelmalla.

Tarkastelu on rajattu horisontaaleihin viivastoihin, sillä käytetyn KCL Duplo -tulostimen suorituskyky osoittautui odotettua huonommaksi. Pystysuorat eli vertikaalit viivat saivat paperilla haamukuvia viereensä. Haamukuvien muodostuminen vaihteli eri levyisissä viivapalkistoissa, joten niiden mittaaminen oli mahdotonta. Sarjat eri papereilla eivät ole täydellisiä, koska osa koepisteistä poistettiin kapeimpien viivojen erottumattomuuden takia. Tooneria ei siirtynyt osalla koepisteistä riittävästi muodostamaan viivastoa, josta olisi voitu kuvata viivapalkistoja. 100 %:in valotuksella siirtyminen oli riittävää kaikilla toonereilla ja papereilla.

Papereista on käytetty luvussa 5.2 niille annettuja nimityksiä ja toonereista käytetään nimityksiä coarse, fine ja kemiallinen. Toonerin määrä on esitetty prosentteina maksimaalisesta toonerimäärästä.

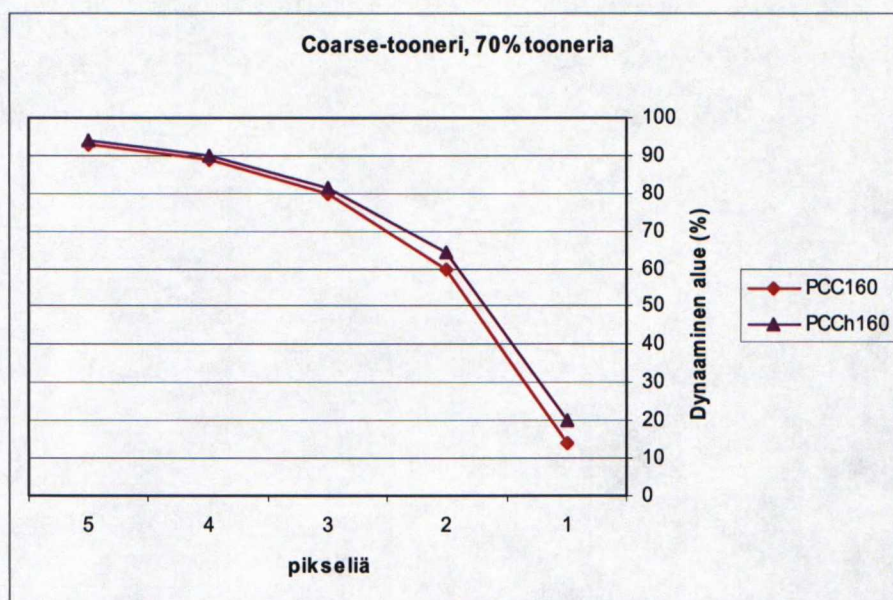
### 6.2 Dynaaminen alue

Dynaamisella alueella kuvataan kontrastialuetta, jonka tulostin ja paperi pystyvät tuottamaan. Tässä työssä dynaaminen alue määritettiin eri levyisistä viivapalkistoista otettujen mikroskooppikuvien punakanavan intensiteetistä, joka vastaa todellisen kuvan densiteettiä, kaavalla 2. Näistä tuloksista tulee huomioda, että arvot määritettiin syaanista palkistosta otetuista kuvista, jotka muutettiin harmaasävykuviksi erottamalla mittaukseen punainen kanava. Tulokset on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 3.

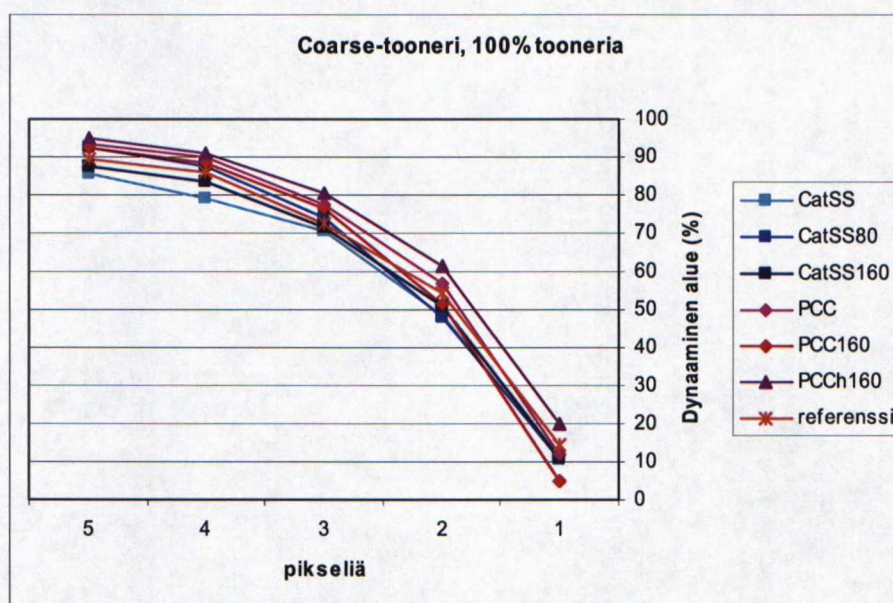
#### 6.2.1 Dynaamisten alueiden erot papereiden aiheuttamina

Kaikilla toonereilla dynaaminen alue oli selkeästi riippuvainen viivanleveydestä, joka johtui paitsi testikuvista myös valotuen määrästä. Kuvassa 13 on esitetty eri papereille saavutettu dynaaminen alue coarsella toonerilla 70 %:in valotuksella, 100 %:in valotuksella kuvassa 14. 50 %:in valotuksella tooneria ei siirtynyt riittävästi yhdelläkään paperilla.





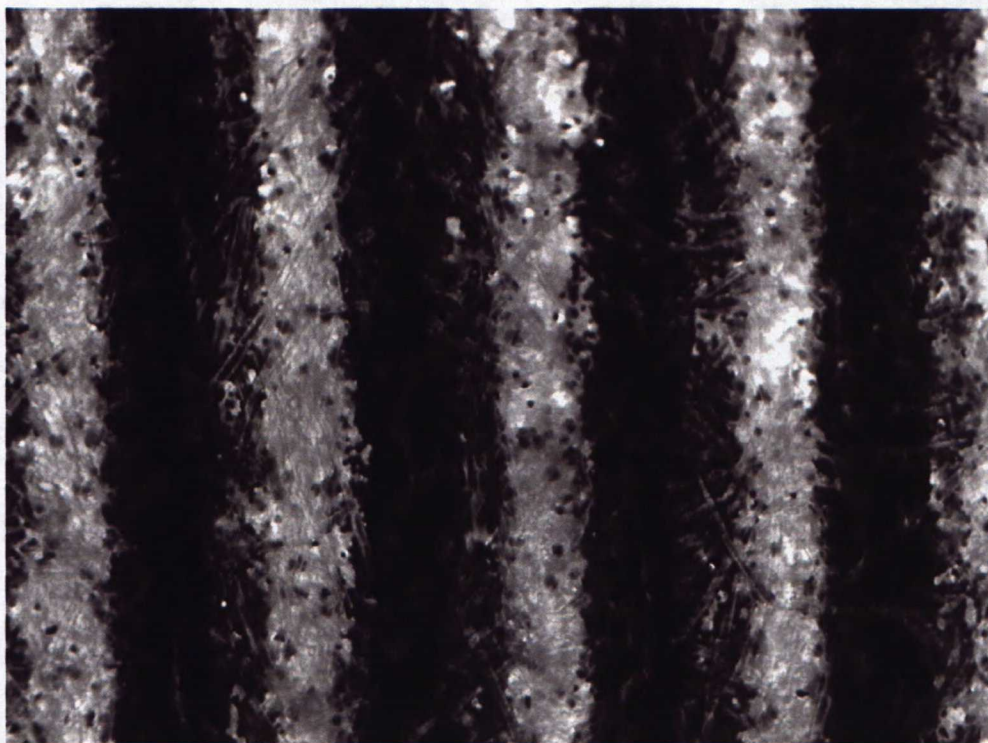
**Kuva 13.** Dynaamiset alueet coarsella toonerilla 70 %:in valotuksella



**Kuva 14.** Dynaamiset alueet coarsella toonerilla 100 %:in valotuksella

Kuvaajista voidaan nähdä, että vain pintaliimattu kalanteroimaton paperi CatSS jää jälkeen muista leveimmillä viivoilla. Tämä saattaa johtua toonerin penetroitumisesta paperin sisään, jolloin pinnan kuidut paljastuvat (kuva 15). Tällöin toonerikerros jää ohuemmaksi ja on siten vaaleampi. Coarsella toonerilla erot kapeilla viivoilla eri papereiden välillä ovat suurimpia. Mielenkiintoista on, että sileät päällystetyt paperit PCC160 ja PCCh160 saavat äärimmäiset arvot. Näistä PCCh160 on sileämpi, mutta ero on pien. Silti ero dynaamisessa alueessa on merkittävä. Dynaamisen alueen merkittävä pieneneminen kapeilla viivoilla pidemmällä valotuksella johtuu viivojen sulautumisesta lähes yhteen. Painamaton osa viivojen välissä jää olemattomaksi, joten myös dynaaminen alue pienenee (kuva 16).





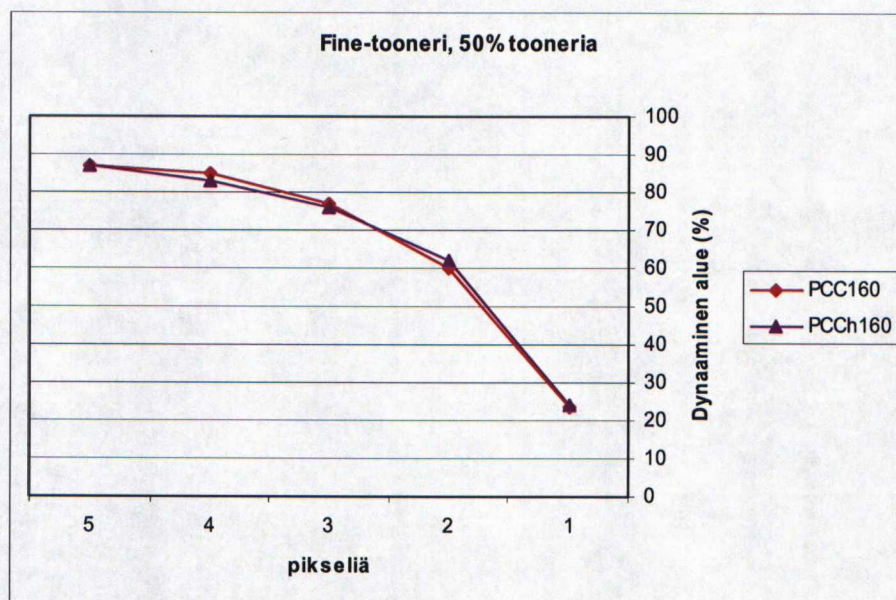
**Kuva 15.** 5 pikselin levyinen viivasto 100 %:in valotuksella coarsella toonerilla pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla (vain punainen kanava kuvasta)



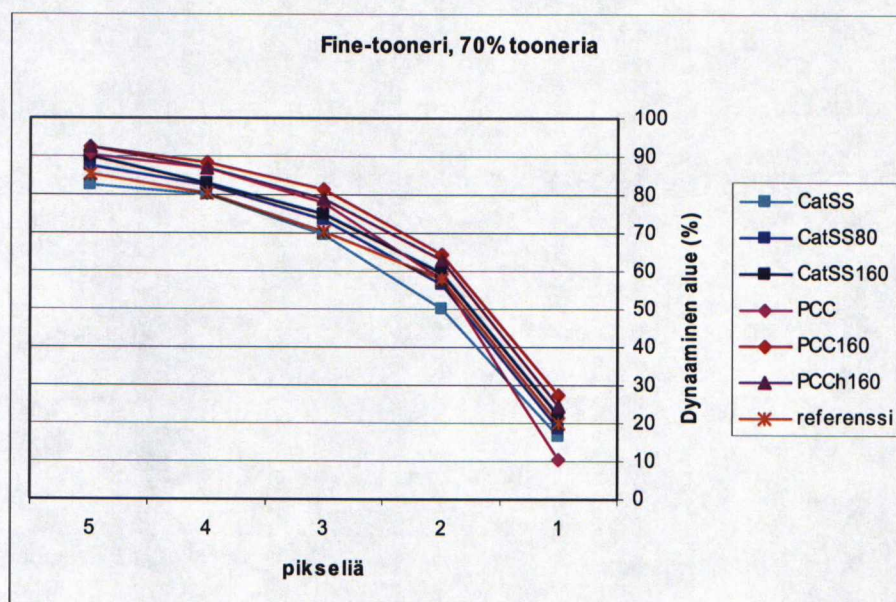
**Kuva 16.** 1 pikselin levyinen viivasto 100 %:in valotuksella coarsella toonerilla pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla (vain punainen kanava kuvasta)



Kuvissa 17-19 on esitetty dynaaminen alue eri papereilla finella toonerilla 50, 70 ja 100 %:in valotuksilla.

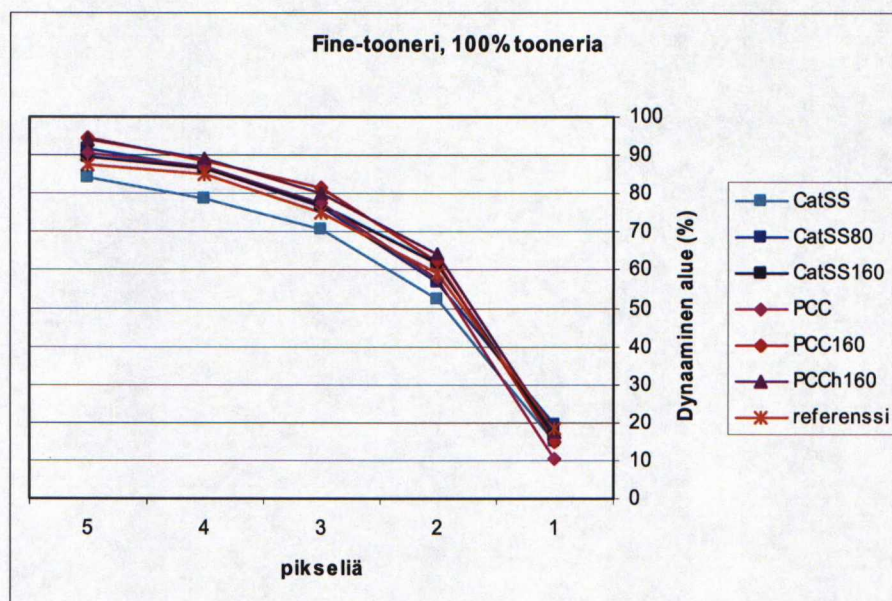


**Kuva 17.** Dynaamiset alueet finella toonerilla 50 %:in valotuksella



**Kuva 18.** Dynaamiset alueet finella toonerilla 70 %:in valotuksella



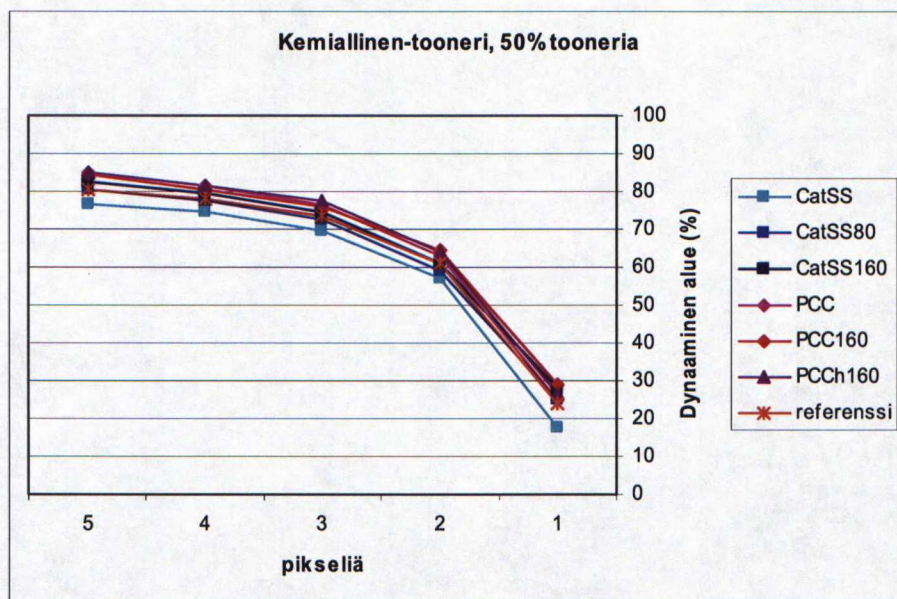


**Kuva 19.** Dynaamiset alueet finella toonerilla 100 %:in valotuksella

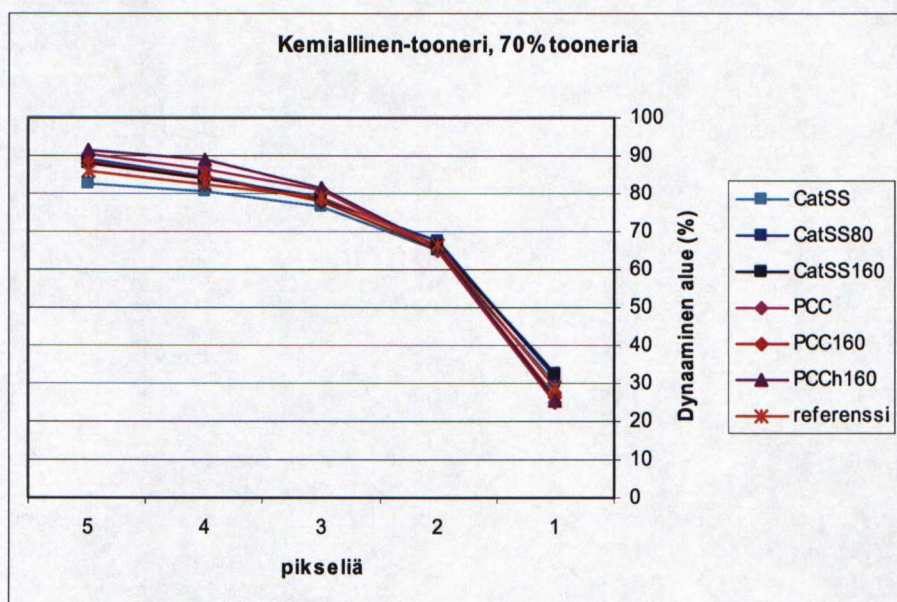
Kuvaajista voidaan havaita, että paksuilla viivoilla myös finella toonerilla tulostetut dynaamiset alueet ovat hyvin samansuuruisia. Kapeilla viivoilla dynaaminen alue on jälleen huomattavasti pienempi 100 %:in valotuksella, samasta syystä kuin coarsellakin toonerilla; viivat sulautuvat yhteen. Karheimmat paperit tuottavat leveimmillä viivoilla pienimmän dynaamisen alueen, 70 ja 100 %:in valotuksella tulostetuilla näytteillä pintaliimattu kalanteroimaton paperi CatSS ja referenssipaperi ovat viivaryhmittymän alareunassa. Kapeilla viivoilla kalanteroimaton PCC-päällystetty paperi saa pienimmän dynaamisen alueen. Päällystetyllä paperilla leviämistä tapahtuu enemmän. Muuten paperit näyttävät asettuvan karheusjärjestykseen.

Seuraavissa kuvissa (20-22) on esitetty dynaamiset alueet eri papereilla, kemiallisella toonerilla ja 50, 70 ja 100 %:in valotuksella. Kuten aiemminkin toonereilla, myös kemiallisella toonerilla pintaliimattu kalanteroimaton paperi CatSS saa pienimmän dynaamisen alueen leveillä, 5 pikselin levyisillä, viivoilla. Muista toonereista poiketen kemiallisella toonerilla pintaliimattu kalanteroimaton paperi erottuu muita huonommaksi myös kapeammilla viivoilla erityisesti 50 %:in valotuksella. Tämä saattaa johtua siitä, että viivapalkistot säilyivät kuvissa erottuvina kaikissa leveyksissä (kuva 23) myös päällystetyillä papereilla, joilla leviämistä tapahtuu enemmän, ja tällöin todelliset erot tulostuslaadussa vaikuttavat. Muuten kaikki paperit saavat kemiallisella toonerilla hyvin samankaltaisia tuloksia keskenään, joskin jonkinlaista järjestymistä karheuden mukaan on havaittavissa.



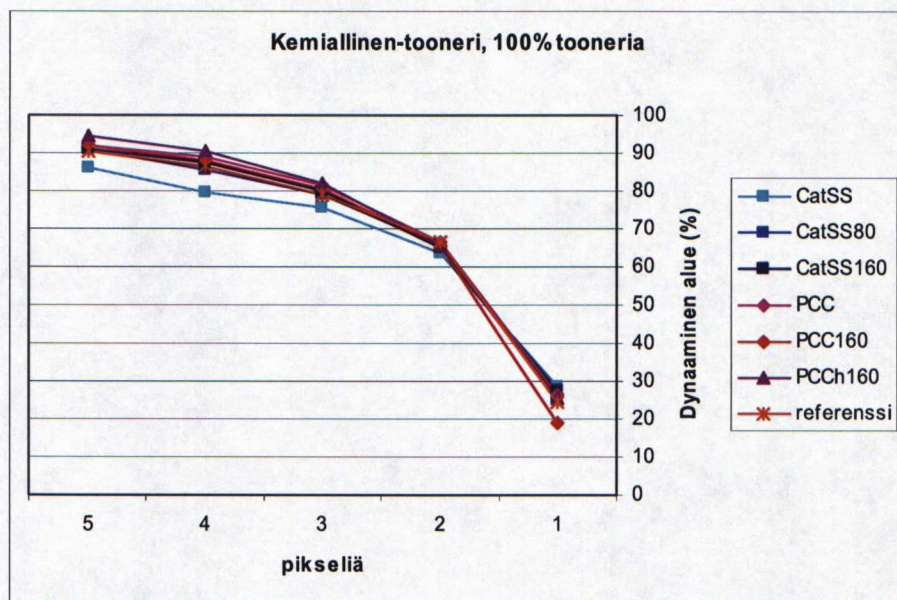


**Kuva 20.** Dynaamiset alueet kemiallisella toonerilla 50 %:in valotuksella

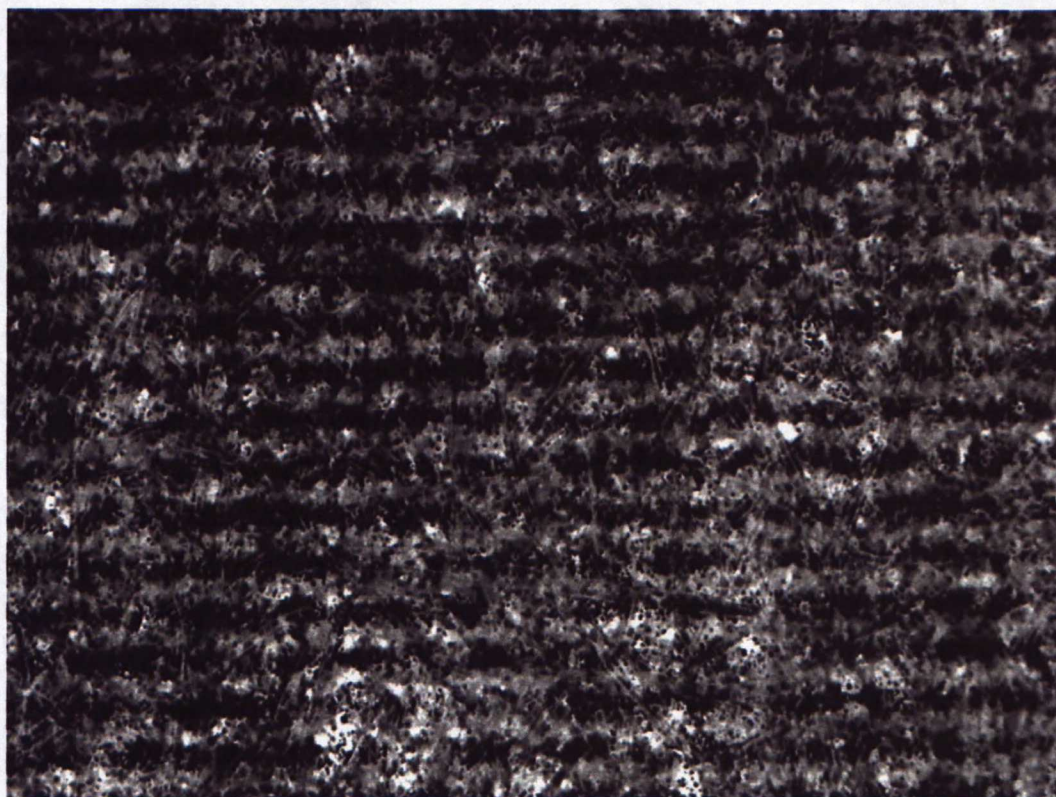


**Kuva 21.** Dynaamiset alueet kemiallisella toonerilla 70 %:in valotuksella





**Kuva 22.** Dynaamiset alueet kemiallisella toonerilla 100 %:in valotuksella



**Kuva 23.** 1 pikselin levyinen viivasto 50 %:in valotuksella kemiallisella toonerilla pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla (vain punainen kanava kuvasta)

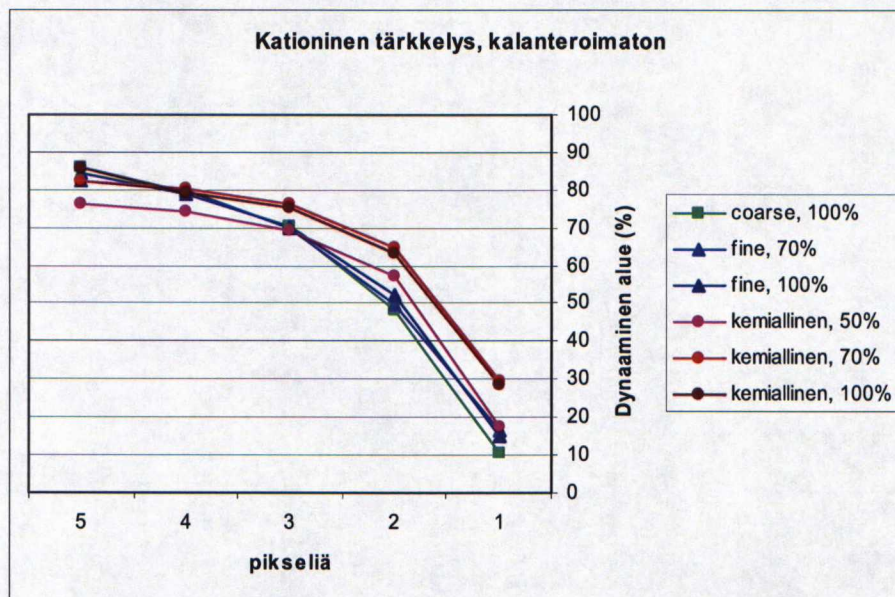


### 6.2.2 Dynaamiset alueet eri toonereiden ja toonerimäärien aiheuttamina

Tässä kappaleessa on esitelty dynaamiset alueet papereittain. Näin voidaan vertailla eri toonereiden ja niiden määrien aiheuttamia eroja dynaamisessa alueessa kullakin paperilla. Kolme ensimmäistä kuvaa (24-26) esittävät dynaamiset alueet kationisella tärkeillä pintaliimatuilla papereilla. Kuvassa 24 on kaikista koepapereista karhein eli kalanteroimaton pintaliimattu paperi CatSS, 80 °C:ssa kalanteroitu kuvassa CatSS80 25 ja 160 °C:ssa kalanteroitu pintaliimattu paperi CatSS160 kuvassa 26.

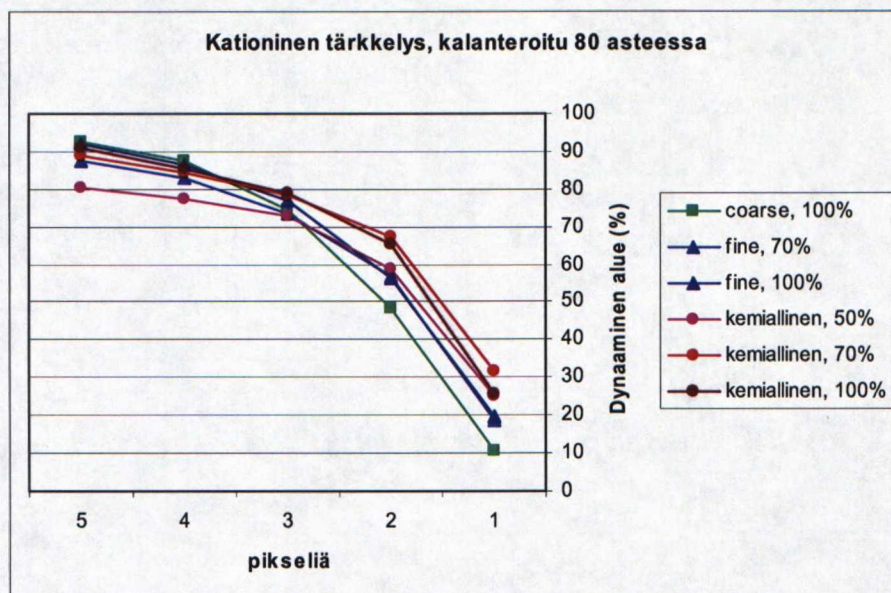
Kuvan 24 kuvaajista voidaan nähdä selvät erot kemiallisen ja lajitettujen toonereiden kuvaajien muodoissa. Coarse ja fine tooneri muodostavat jyrkemmin laskevat dynaamisen alueen kuvat. Kemiallisella toonerilla dynaaminen alue pysyy suurempana pidempään siirryttäessä kapeampiin viivoihin eikä laske yhtä pieneksi kuin lajittamalla muodostetuilla finella ja coarsella toonerilla. Pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla coarsen ja finen toonerin muodostamien dynaamisten alueiden välillä ei juurikaan ole eroa edes erisuuruisilla valotuksilla. Coarse tooneri saavuttaa aavistuksen pienemmän dynaamisen alueen kapeimmilla viivoilla. Tämä johtunee toonerin leviämisestä ja toonerittoman viivan kaventumisesta ja jopa häviämisestä. Tällä karhealla paperilla penetroitumista tapahtuu enemmän verrattuna sileämpiin papereihin, joilla leviäminen on vastaavasti suurempaa.

Kemiallisella toonerilla kaksi eniten valotettua näytettä saavat samankaltaiset dynaamiset alueet, kun taas 50 %:n valotuksella saavutetaan samanmuotoinen mutta tasaisesti pienempi dynaaminen alue kuin suuremmilla valotuksilla johtuen ohuemmasta ja vaaleammasta toonerikerroksesta.



**Kuva 24.** Dynaamiset alueet eri toonereilla pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla

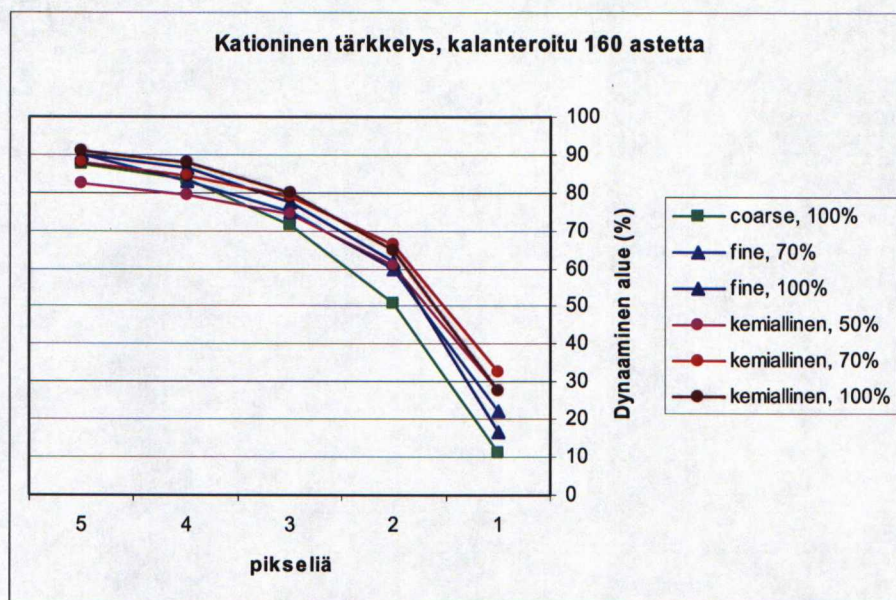




**Kuva 25.** Dynaamiset alueet eri toonereilla pintaliimatulla 80 °C kalanteroidulla paperilla

Kuvassa 25 on esitetty dynaamiset alueet kationisella tärkillä pintaliimatulla ja 80 °C kalanteroidulla paperilla. Siinä finen ja coarsen toonerin välille on syntynyt lisää eroa verrattuna kalanteroimattomalla paperilla syntyviin eroihin. Coarsella toonerilla ja 100 %:in valotuksella syntyy suurin dynaaminen alue leveillä viiden pikselin viivoilla. Kuvaaja laskee kuitenkin jyrkästi ja kapeimmilla viivoilla dynaaminen alue on pienin. Suurikokoiset tooneripartikkelit leviävät kiinnityksessä laajemmalle alueelle kuin pienemmät etenkin sileillä ja pinnastaan tiiviillä papereilla, siksi coarse toonerin muodostamat viivat kaventavat tooneritonta viivaa nopeimmin. Finella toonerilla ei ole havaittavissa eroja 70 ja 100 %:in valotusten välillä. Kemiallisella toonerilla leveillä viivoilla 100 %:in valotuksella saavutetaan suurin ja 50 %:in valotuksella pienin dynaaminen alue. Kapeimmilla viivoilla 70 %:in valotus tuottaakin suurimman dynaamisen alueen, kun 50 ja 100 %:in valotukset saavuttavat samankokoiset dynaamiset alueet. Sileimmällä 160 °C kalanteroidulla paperilla (kuva 26) on havaittavissa samanlaisia ilmiöitä.



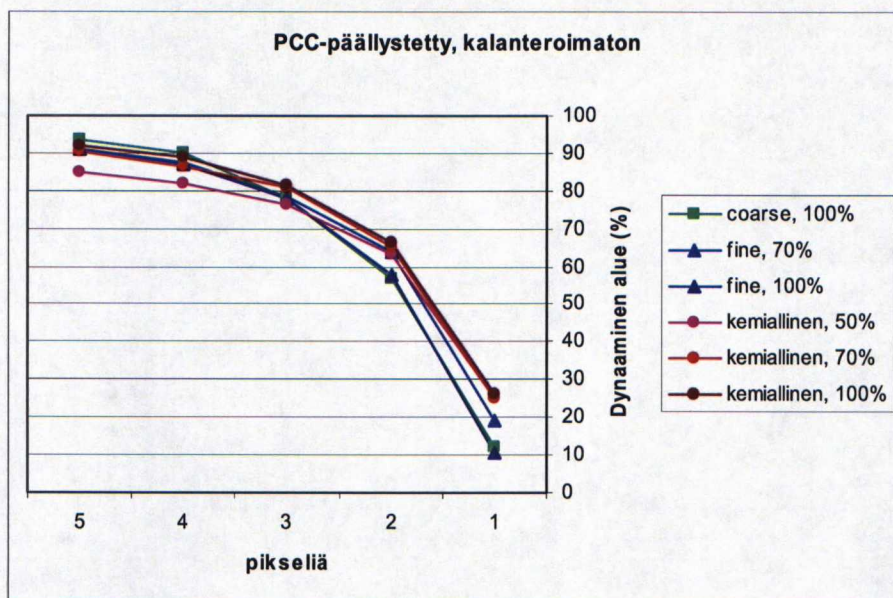


**Kuva 26.** Dynaamiset alueet eri toonereilla pintaliimatulla 160 °C:ssa kalanteroidulla paperilla

Pintaliimatulla 160 °C:ssa kalanteroidulla CatSS160 paperilla kapeimmilla viivoilla pienin dynaaminen alue syntyy coarsella toonerilla. Kapeimmalla toonerilla myös finen eri valotukset erottuvat toisistaan; enemmän valotetulla koepisteellä on pienempi dynaaminen alue. Suuremmalla valotuksella tooneria on paperilla enemmän ja samalla sitä leviää enemmän, jolloin valkoinen alue viivojen välillä vähenee. Kemiallisella toonerilla saavutetaan pintaliimatulla sileällä paperilla suurin dynaaminen alue leveimmillä viivoilla 100 %:in valotuksella. 50 %:in valotuksella saavutetaan selkeästi pienempi dynaaminen alue. Kemiallisen toonerin partikkelit ovat pieniä ja vähäisellä valotuksella niiden määrä jää paperilla vähäisemmäksi. Tällöin toonerikerros paperilla jää ohueksi ja siten vaaleammaksi kuin suuremmilla valotuksilla. Siirryttäessä kapeimpiin viivoihin suurin dynaaminen alue saavutetaankin 70 %:in valotuksella, samoin kuin 80 °C:ssa kalanteroidulla paperilla. Tällä sileälläkin paperilla 50 ja 100 %:in valotuksella saavutetut dynaamiset alueet ovat yhtenevät. Tämä saattaa johtua 100 %:in valotuksella lisääntyvistä satelliittipartikkeleista viivojen välissä.

Seuraavassa kuvassa 27 on eri toonereiden dynaamiset alueet PCC-päällystetyllä kalanteroimattomalla paperilla.





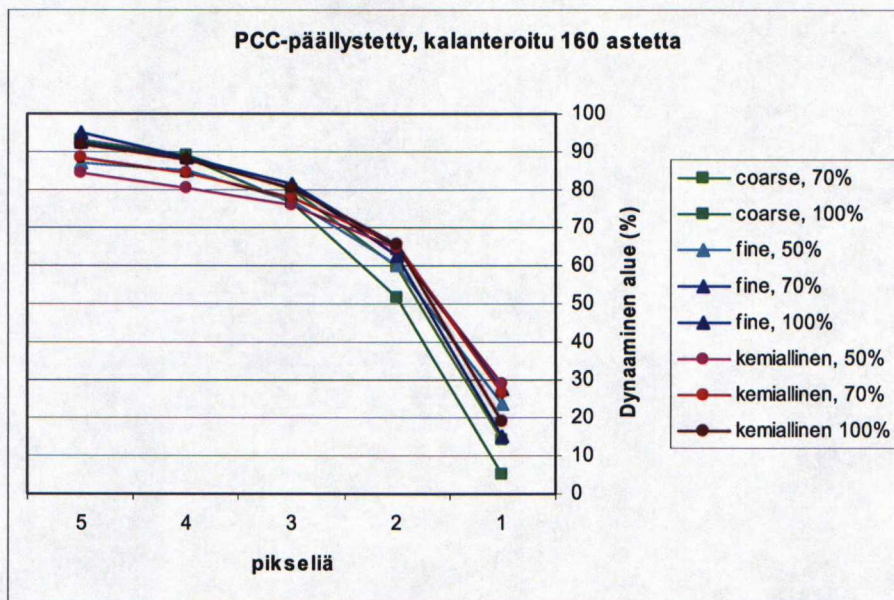
**Kuva 27.** Dynaamiset alueet eri toonereilla PCC-päällystetyllä kalanteroimattomalla paperilla

PCC-päällystetyllä paperilla erot ovat kokonaisuudessaan pienempiä kuin pintaliimatulla paperilla. Leveimmillä viivoilla coarse tooneri 100 %:in valotuksella saavuttaa suurimman dynaamisen alueen ja kemiallinen 50 %:in valotuksella pienimmän kuten pintaliimatulla-kin kalanteroimattomalla paperilla. Viivojen kavetessa coarse ja fine tooneri 100 %:in valotuksella saavuttavat yhteneväiset dynaamiset alueet, finen toonerin 70 %:in valotuksella tuottaessa hieman suuremman dynaamisen alueen. Tämäkin on selitettävissä toonerin leviämällä.

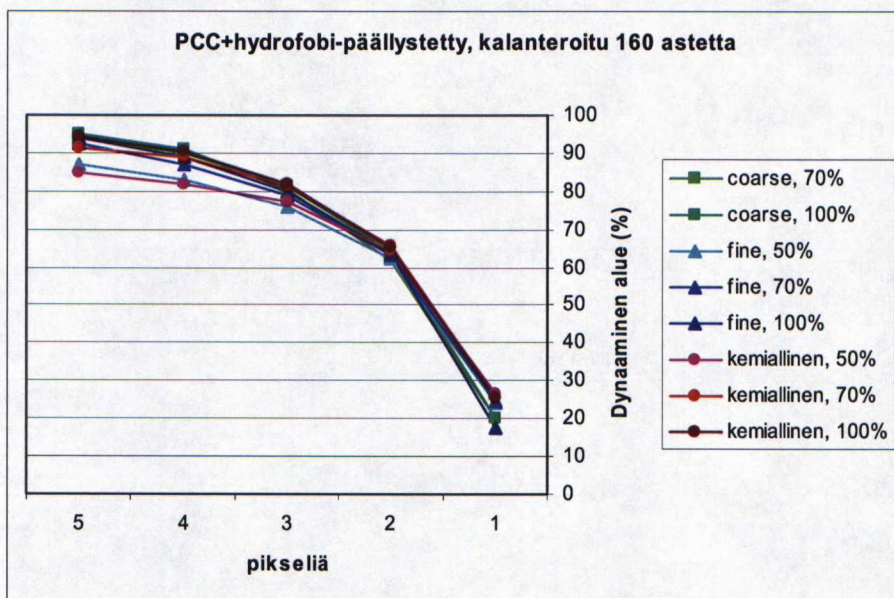
Kemiallisella toonerilla leveimmän viivan tuottamat dynaamiset alueet järjestyvät valotuksen suhteen. Ohuimman toonerikerroksen tuottava 50 %:in valotus saa aikaan pienimmän dynaamisen alueen ja paksuimman tuottava 100 %:in valotus suurimman. Viivojen kaventuessa kaikkien valotusmäärien dynaamiset alueet ovat yhteneviä. Kapeilla viivoilla merkittävinä dynaamisen alueen muodostumiselle näyttää olevan viivojen erottuminen, ei niinkään toonerikerroksen paksuus.

Seuraavat kaksi kuvaa (28 ja 29) kuvaavat 160 asteessa kalanteroitujen PCC- ja PCCh-päällystettyjen papereiden dynaamisia alueita. Näistä kahdesta PCC-päällystetty on siileämpi ja PCCh-päällystetty on resistiivisempi.





**Kuva 28.** Dynaamiset alueet eri toonereilla PCC-päällystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla



**Kuva 29.** Dynaamiset alueet eri toonereilla PCCh-päällystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla

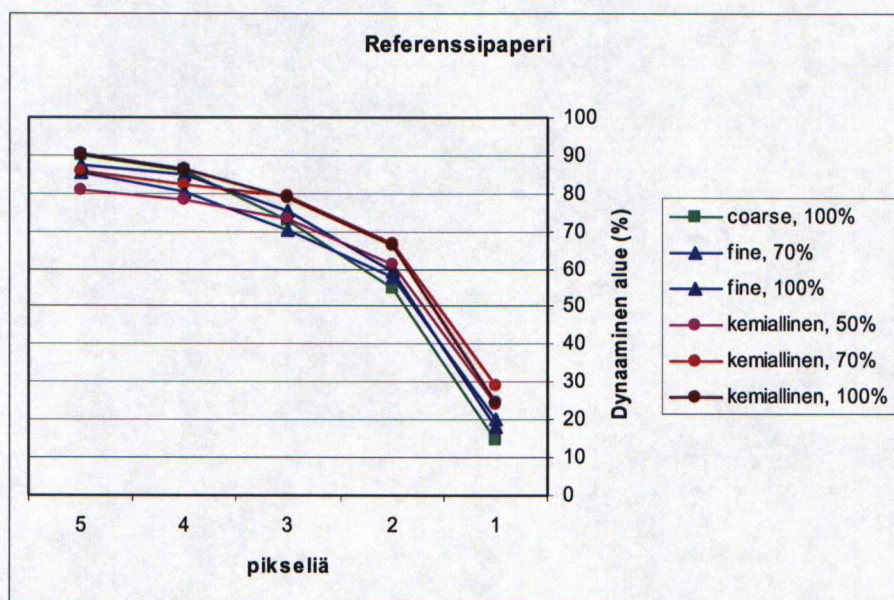
PCC-päällystetyllä kalanteroidulla paperilla (kuva 28) kemiallinen toneri käyttäytyy samoin kuin aiemmilla paperilla; leveimmillä viivoilla suurin valotus tuottaa suurimman dynaamisen alueen ja kapeilla pienimmän. Leveillä viivoilla 50 ja 70 %:in valotukset eroavat toisistaan, mutta jälleen kapeilla viivoilla saavuttavat samansuuruiset dynaamiset alueet. Coarsen ja finen toonerin kaksi suurinta valotusta tuottavat lähes yhtäläiset dynaamiset



alueet leveillä viivoilla 50 %:in valotuksen tuottaessa pienemmän alueen. Kapeampiin viivoihin siirryttäessä coarsen toonerin dynaaminen alue pienenee jyrkimmin; erityisesti 100 %:lla valotettu. Corsen toonerin 70 %:in valotus ja finen toonerin 100 %:in valotus tuottavat kapeimmilla viivoilla yhtenevät dynaamiset alueet. Myös finella toonerilla vähäisemmät valotukset tuottavat paremman dynaamisen alueen.

PCCh-päällystetyllä ja 160 °C:ssa kalanteroidulla paperilla (kuva 29) dynaamiset alueet kaikilla toonereilla ovat hyvin samankaltaiset eri viivanleveyksillä. Leveillä viivoilla erotuvat hieman muita huonommiksi fine ja coarse tooneri 50 %:in valotuksella. Coarsella toonerilla ei 50 %:in valotus tuottanut erottuvaa kapeinta viivastoa millään paperilla. Muuten kaikki toonerit tuottavat hyvin yhtenevät dynaamiset alueet. Kapeimmilla viivoilla lajittamalla valmistettujen toonereiden suurimmat valotukset jäävät aavistuksen jälkeen muista, oletettavasti jälleen toonerin leviämisen takia. Vaikuttaa siis siltä, että resistiivisyys helpottaa kaikilla toonereilla paremman dynaamisen alueen saavuttamista.

Kuva 30 esittää dynaamiset alueet referenssipaperilla. Eri toonerit käyttäytyvät referenssipaperilla hyvin paljon samankaltaisesti kuin pintaliimatuillakin papereilla. Tämä ei ole yllätys, sillä referenssipaperi oli kaupallinen kopiopaperi, joka vastaa ominaisuuksiltaan pintaliimattua pilottipaperia.



**Kuva 30.** Dynaamiset alueet eri toonereilla referenssipaperilla

Kemiallisen toonerin pienin valotus on leveillä viivoilla jälleen muita huonompi, suurimman valotuksen tuottaessa suurimman dynaamisen alueen. Kapeilla viivoilla pienin ja suurin valotus ovat 70 %:in valotusta huonompia tämän tuottaessa kaikista suurimman dynaamisen alueen. Lajittamalla valmistettujen toonereiden välillä ei ole suuria eroja, mutta yhden pikselin levyisillä viivoilla voidaan havaita suurempien valotusmäärien tuottavan



pienemmän dynaamisen alueen kuin vähäisempien valotusten. Erot ovat kuitenkin melko vähäisiä.

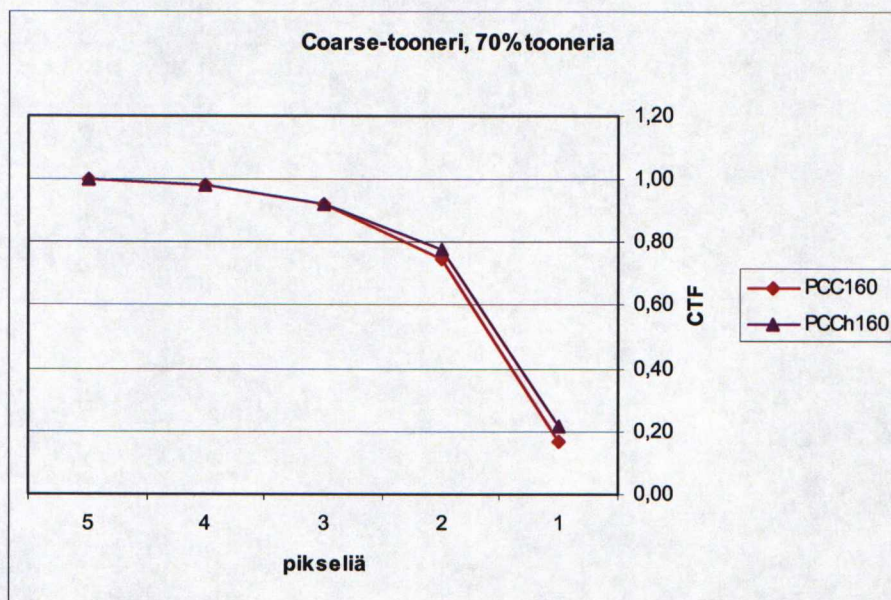
## 6.3 Kontrastinsiirtofunktio

### 6.3.1 Yleistä

Kontrastinsiirtofunktio eli CTF mittaa tulostimen yksityiskohtien toistokykyä. Kontrastinsiirtofunktio määritettiin kaavalla (4) eri levyisistä viivapalkistoista. Kontrastinsiirtofunktio saadaan, kun dynaaminen alue jaetaan suurimman ja pienimmän densiteetin summalla. CTF:n arvo vaihtelee välillä 0-1, yhden ollessa ideaalinen. Kontrastinsiirtofunktion mittaukselliset tulokset on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 4.

### 6.3.2 Papereiden aiheuttamat erot eri toonereilla

Kuvissa 31 ja 32 on esitetty CTF-käyrät horisontaaleille viivastoille coarsella toonerilla 70 ja 100 %:in valotuksella niillä testipapereilla, joilla kapein viivasto oli erottuva. 50 %:in valotuksella millekään paperille ei saatu tulostettua erottuvaa yhden pikselin levyistä viivastoa. 70 %:in valotuksella ainoastaan 160 asteessa kalanteroiduille papereille oli saatu tulostettua viivastot, joista yhden pikselin levyiset viivat erottuivat. Vähäisellä toonerimäärällä viivastoja ei yhden pikselin levyisenä erottanut lainkaan, joillain papereilla sama ongelma esiintyi leveämmilläkin viivoilla. Ilmeisesti isokokoisia tooneripartikkeleita ei siirtynyt valotetulle fotojohteelle tarpeeksi, jolloin syntyvä kuva jäi heikoksi, jopa olemattomaksi.

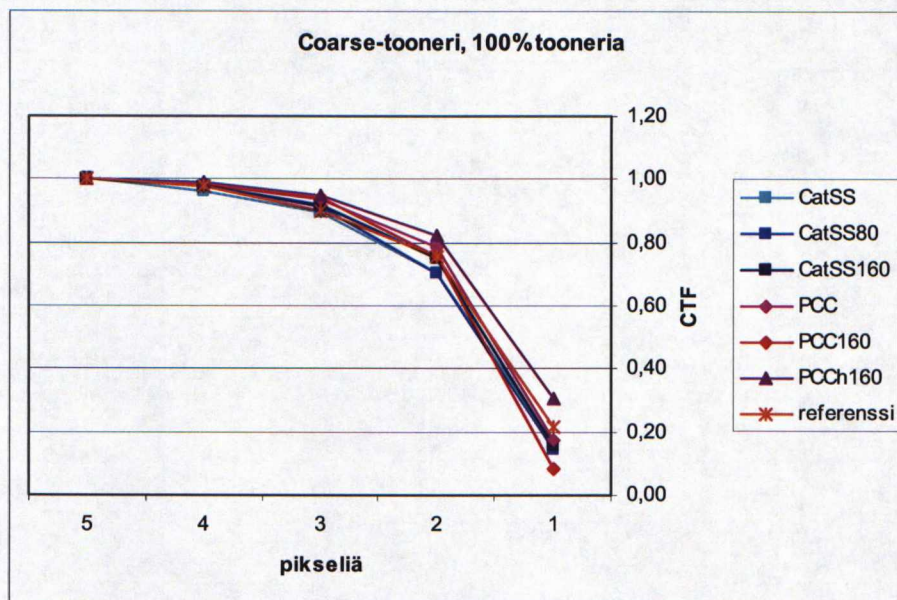


**Kuva 31.** CTF coarse toonerilla 70 %:in valotuksella

Kuvan 31 kahdella paperilla PCC160 ja PCCh160 ei juuri voi nähdä suurta eroa coarsella toonerilla ja 70 %:n valotuksella. Kuitenkin voidaan nähdä, että CTF on vahvasti riippuvainen viivapalkiston leveydestä. Kontrastinsiirtofunktio saa parhaan arvonsa leveimmällä



viivastolla, kuten odotettua onkin, koska Määritelmän mukaan kontrastinsiirtofunktio saa arvon yksi leveillä viivoilla. Myös laaja dynaaminen alue tuottaa suuren kontrastinsiirtofunktion arvon. Nämä kaksi tulosta ovat siis toisistaan riippuvaisia.



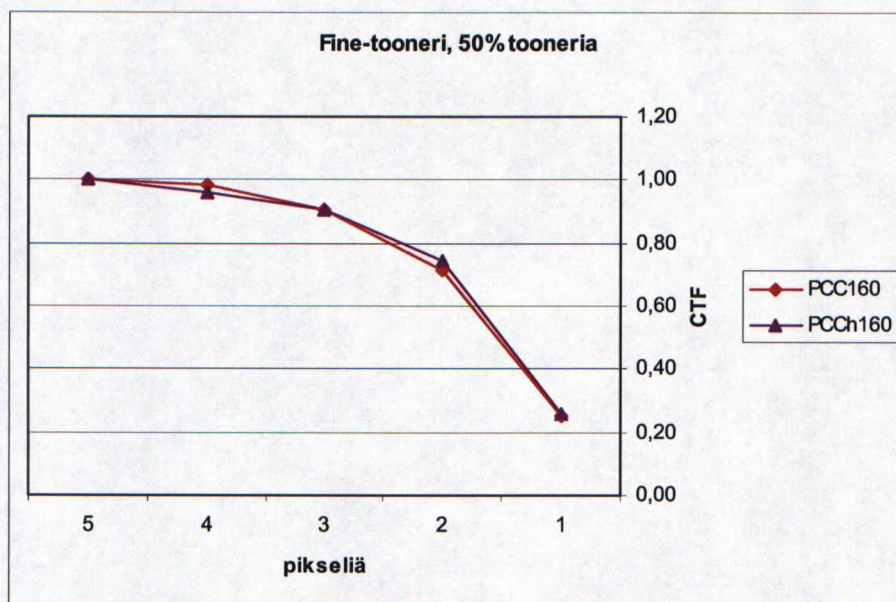
**Kuva 32.** CTF coarse toonerilla 100 %:in valotuksella

Kuvasta 32, jossa on coarsen toonerin kontrastinsiirtofunktiot 100 %:in valotuksella, voidaan nähdä, että kontrastinsiirtofunktioista piirretty kuvaaja on samanmuotoinen verrattuna edellisen kuvan kuvaajiin. Samoin voidaan todeta, että paperien aiheuttamat erot kontrastinsiirtofunktiossa ovat odotetusti pieniä. Kuitenkin voidaan havaita, että kapeimmilla viivapalkistoilla 160 °C:ssa kalanteroitu hydrofobisella päällystellä päällystetty paperi PCCh160 saa selvästi parhaat eli korkeimmat arvot. Tätäkin paperia sileämpi on hydrobofoimattomalla päällysteellä päällystetty ja 160 asteessa kalanteroitu paperi. Kuitenkin se saa heikoimman arvon kapeimmalla yhden pikselin levyisellä viivastolla. Tässäkin resistiivisyys parantaa tulosta.

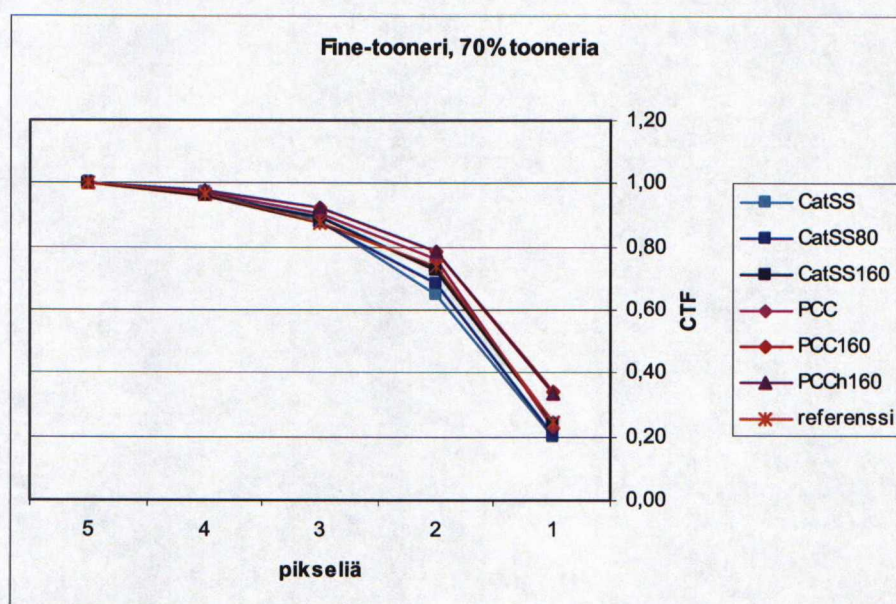
Muuten paperit saavat jokaisella viivanleveydellä lähes yhtäläiset CTF-arvot. Jos tummuuden aiheuttamaa eroa ei tasoiteta asettamalla leveiden viivojen kontrastinsiirtofunktiota ykköseksi, pintaliimattu kalanteroimaton ja referenssipaperi saavat heikommät arvot. Tämä saattaa johtua siitä, että tooneri pääsee penetroitumaan paperin sisään muita enemmän ja kiinnityksessä osa kuiduista tulee esiin. Tämä pienentää dynaamista aluetta ja siten myös kontrastinsiirtofunktiota. Kapeammilla viivoilla erot tasoittuvat, kun viivat leviävät viivojen välialueelle myös muilla papereilla ja dynaamiset alueet pienenevät.

Kuvissa 33-35 on esitetty fine toonerilla tulostettujen papereiden kontrastinsiirtofunktioiden kuvat. Kuvassa 33 on valotuksena 50 %, kuvassa 34 70 % ja kuvassa 35 100 %.





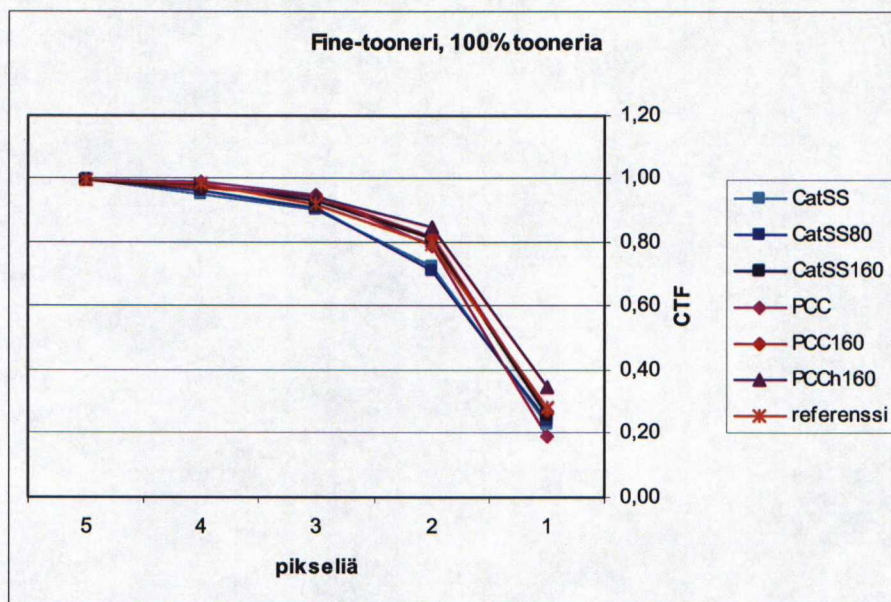
**Kuva 33.** CTF fine-toonerilla 50 %:in valotuksella



**Kuva 34.** CTF fine-toonerilla 70 %:in valotuksella

Kuvista 33 ja 34 voidaan havaita, että kontrastinsiirtofunktiot PCC- ja PCCh-päällystetyillä 160 asteessa kalanteroiduilla papereilla ovat finella toonerilla 50 ja 70 %:in valotuksella kaikilla viivanleveyksillä parhaat ja samanlaiset. Muutenkin päällystetyt paperit tuottavat paremmat kontrastinsiirtofunktiot kuin pintaliimatut paperit. Kuvasta 34 voidaan havaita, että kontrastinsiirtofunktioiden kuvaajat järjestäytyvät pääpiirteissään paperien karheuksien perusteella siten, että karheimmilla papereilla tulokset ovat heikoimpia.



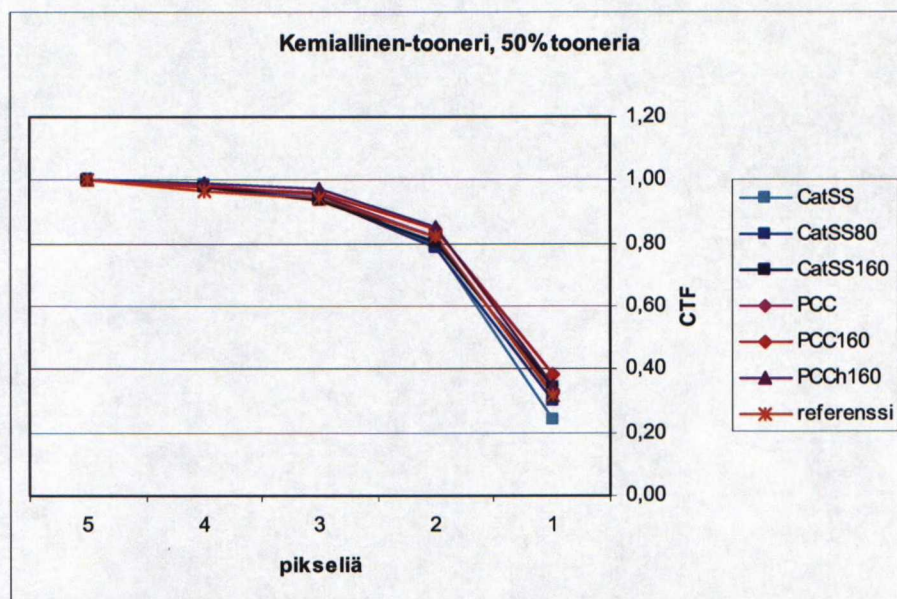


**Kuva 35.** CTF fine-toonerilla 100 %:in valotuksella

Kuvan 35 perusteella voidaan päätellä, että finella toonerilla valotuksen määrä lisää eroa karheimman paperin ja muiden välillä. Lisääntyvä toonerimäärä kasvattaa dynaamista aluetta ja siten parantaa CTF:ta sileillä papereilla karheita enemmän. Kapeilla viivoilla sileä PCCh-päällystetty paperi erottuu edelleen hieman muita parempana, mutta sileä PCC-päällystetty, joka vähäisemmällä valotuksella oli tasavertainen, on menettänyt etumatkansa muihin nähden. Voidaan siis todeta, että leveillä viivoilla ja pienemmällä toonerin määrällä paperin karheus vaikuttaa eniten, mutta suurella toonerimäärällä, jolloin osoitettavuus on vaikeampaa, paperin resistiivisyys parantaa tulosta.

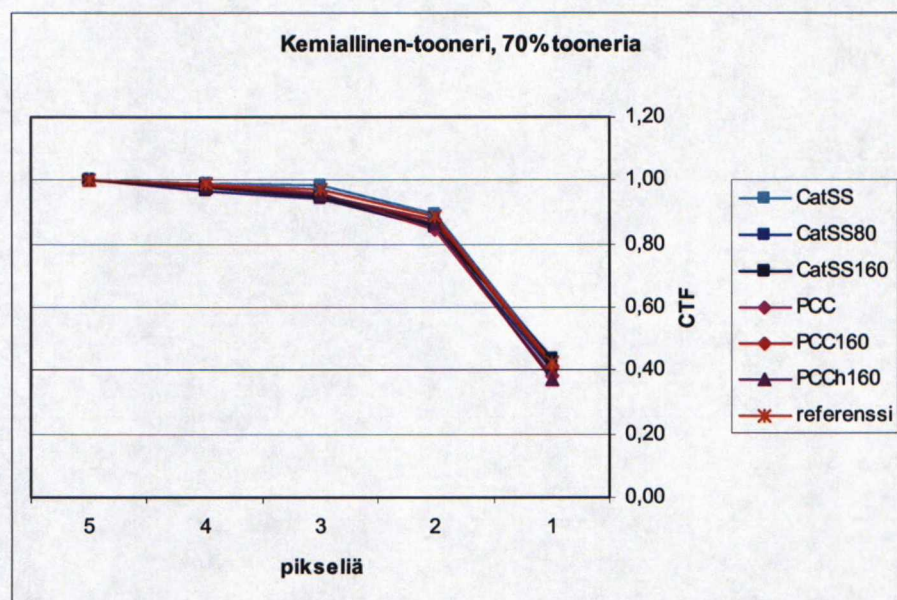
Kemiallisella toonerilla kaikille papereille saatiin tulostettua erottuvat viivapalkistot kaikilla leveyksillä. Kuvissa 36-38 on kontrastinsiirtofunktioiden kuvaajat kemiallisella toonerilla eri valotuksilla. Yleisesti voidaan todeta, että kemiallinen tooneri tuottaa eri papereiden välille vieläkin vähemmän eroja kuin lajittamalla valmistetut fine ja coarse tooneri. Kuitenkin pintaliimattujen ja päällystettyjen paperien välillä on havaittavissa hienoinen ero.





**Kuva 36.** CTF kemiallisella toonerilla 50 %:in valotuksella

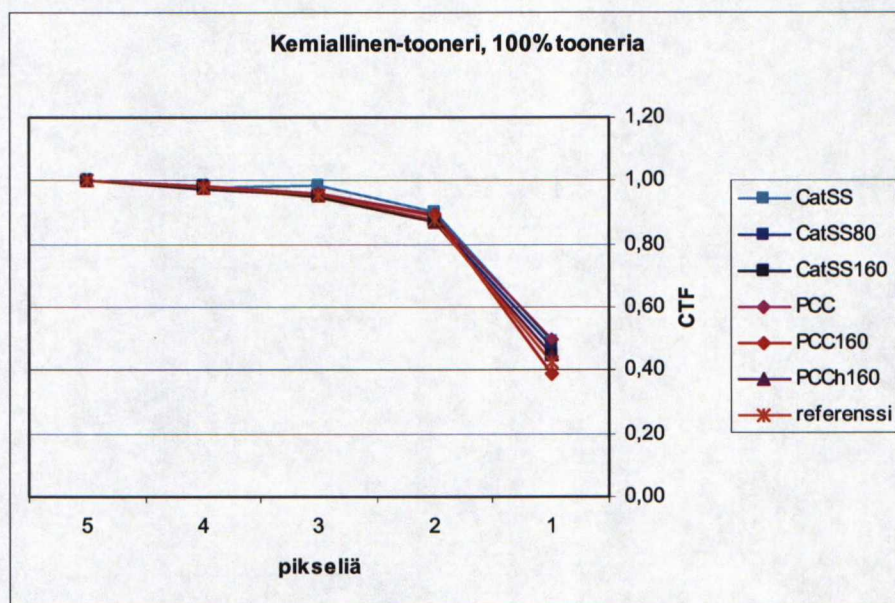
50 %:in valotuksella (kuva 36) paperit jakautuvat kontrastinsiirtofunktion perusteella kahteen ryhmään. Pintaliimatut yhdessä referenssipaperin kanssa muodostavat toisen ryhmän, joka saavuttaa kaikilla viivanleveyksillä toista, päällystettyjen paperien, ryhmää huonommat pienemmät kontrastinsiirtofunktiot. Kemiallisella toonerilla kontrastinsiirtofunktioon näyttäisi vaikuttavan enemmän päällystys kuin pinnan karheus. Ilmeisesti päällystetty paperi estää lähes täysin toonerin penetroitumisen, jolloin pinnalle jäävä toonerikerros pysyy paksumpana ja tuottaa siten paremman kontrastinsiirtofunktion.



**Kuva 37.** CTF kemiallisella toonerilla 70 %:in valotuksella



70 %:in valotuksella erot pienenevät entisestään (kuva 37). Kapeilla viivoilla eroja papereiden välillä ei enää oikeastaan ole. Valotuksen ja toonerimäärän samalla lisääntyessä 100 %:iin (kuva 38) yhden pikselin viivoilla erot ovat muuttuneet karheampien paperien eduksi. Syynä saattaa olla toonerin leviäminen. Sileillä papereilla ja etenkin päällystetyillä papereilla, joilla penetroitumista tapahtuu vähemmän, tooneri leviää paperin pintaa pitkin enemmän. Karheilla papereilla tooneri ei pääse leviämään yhtä vapaasti ja silloin valkoiset viivat tooneriviivojen välissä pysyvät ehjempinä, mikä parantaa kontrastinsiirtofunktiota.



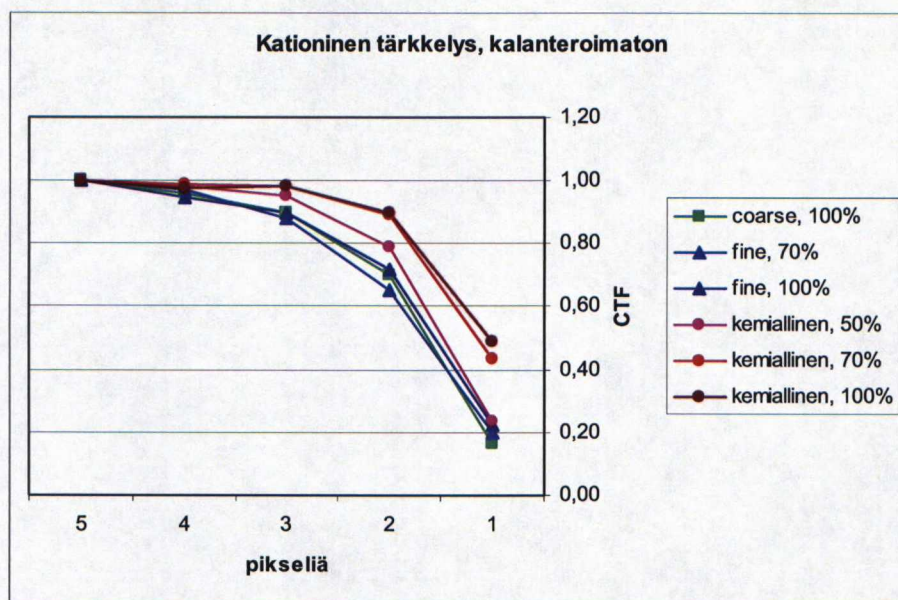
**Kuva 38.** CTF kemiallisella toonerilla 100 %:in valotuksella

### 6.3.3 Toonereiden ja niiden määrän aiheuttamat erot eri papereilla

Tämän kappaleen kuvat esittelevät kontrastinsiirtofunktiota papereittain. Kaikki kyseisellä paperilla näkyvän viivaston aikaansaaneet toonerit ja valotusmäärät on esitetty yhdessä kuvassa ja näin voidaan vertailla eri toonereiden aikaansaamia eroja kontrastinsiirtofunktiossa ja sitä myöden yksityiskohtien toistokyvystä.

Kolmessa ensimmäisessä kuvassa, kuvissa 39, 40 ja 41, nähdään eri toonereiden kontrastinsiirtofunktiot kationisella tärkkelyksellä pintaliimatuilla papereilla. Ensin on esitetty kalanteroimaton paperi, sitten 80 asteessa kalanteroitu ja kolmantena 160 asteessa kalanteroitu paperi. Helposti voidaan havaita, että toonerit aiheuttavat huomattavasti enemmän eroja kontrastinsiirtofunktioihin kuin edellisessä kappaleessa vertaillut paperit.





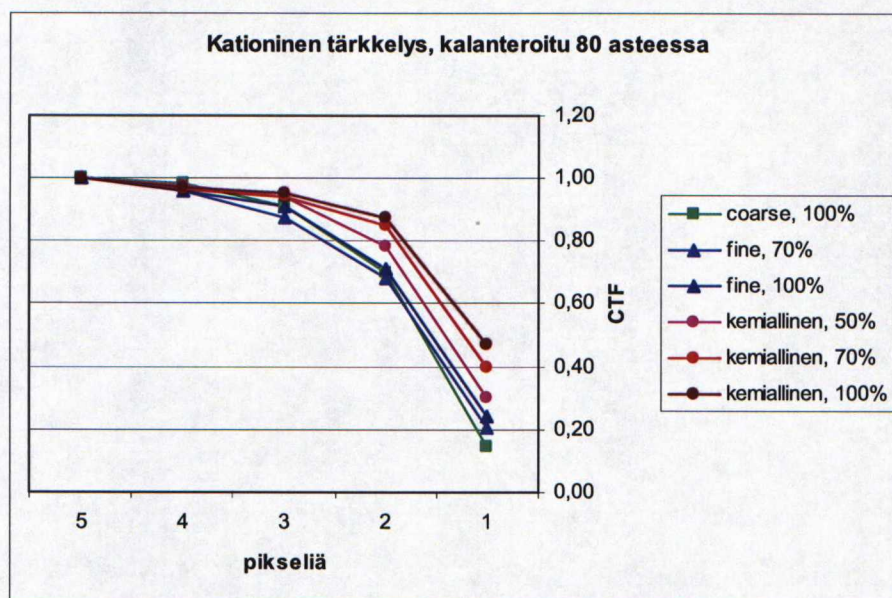
**Kuva 39.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla kationisella tärkkelyksellä pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla

Kuvasta 39 voidaan havaita, että kontrastinsiirtofunktion ja valotusmäärän välinen riippuvuus on merkittävää. Etenkin kemiallisen toonerin eri valotusmäärät pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla ovat selkeästi erottuvia. Suurin valotus tuottaa parhaan tuloksen koko alueella ja pienin selkeästi huonoimman.

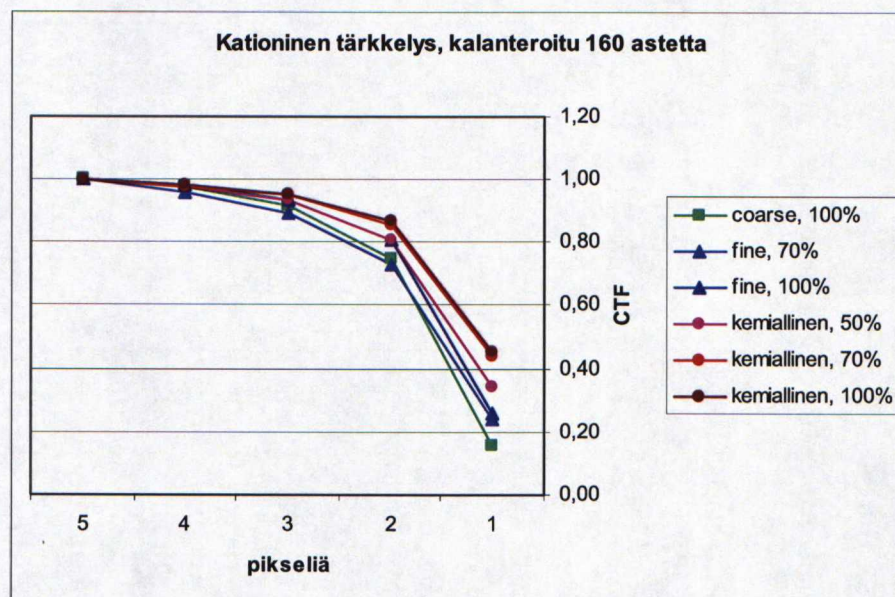
Jos tummuuden annettaisiin vaikuttaa kontrastinsiirtofunktioon, Coarse tooneri tuottaisi leveimmällä viivalla parhaan kontrastinsiirtofunktion pintaliimatulla kalanteroimattomalla paperilla, mutta kuten dynaamisen alueenkin kuvaaja, myös kontrastinsiirtofunktion kuvaaja laskisi nopeasti. Myös finella toonerilla kuvaajat järjestyvät valotuksen mukaan. Kapeimmalla viivalla coarsen ja finen toonerin kaikki valotusmäärät ja kemiallisen toonerin huonoin 50 %:in valotusmäärä saavuttavat lähes saman tuloksen. Lajittamalla valmistetut toonerit leviävät ja tooneriton viiva kapenee heikentäen kontrastinsiirtofunktiota, kun taas kemiallisen toonerin viiva 50 %:in valotuksella on muita vaaleampi. Näin eri tavoin syntyvä pieni dynaaminen alue tasoittaa kontrastinsiirtofunktioita.

Kuvassa 40 testialustana on pintaliimattu 80 asteessa kalanteroitu paperi. Suuria eroja karheampaan paperiin nähden ei havaita. Kemialliset toonerit järjestyvät tässäkin valotuksen mukaan, samoin finet. Coarsen toonerin kontrastinsiirtofunktio on leveämmillä viivoilla finen toonerin edellä, mutta muuttuu kapeimpaan viivaan siirryttäessä huonoimmaksi. Yhden pikselin levyisellä viivalla finen toonerin valotusten järjestys erottuu vähemmän valotetun koepisteen eduksi. Toonerin leviäminen heikentää maksimivalotetun koepisteen tulosta.





**Kuva 40.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla kationisella tärkkelyksellä pintaliimatulla 80 asteessa kalanteroidulla paperilla

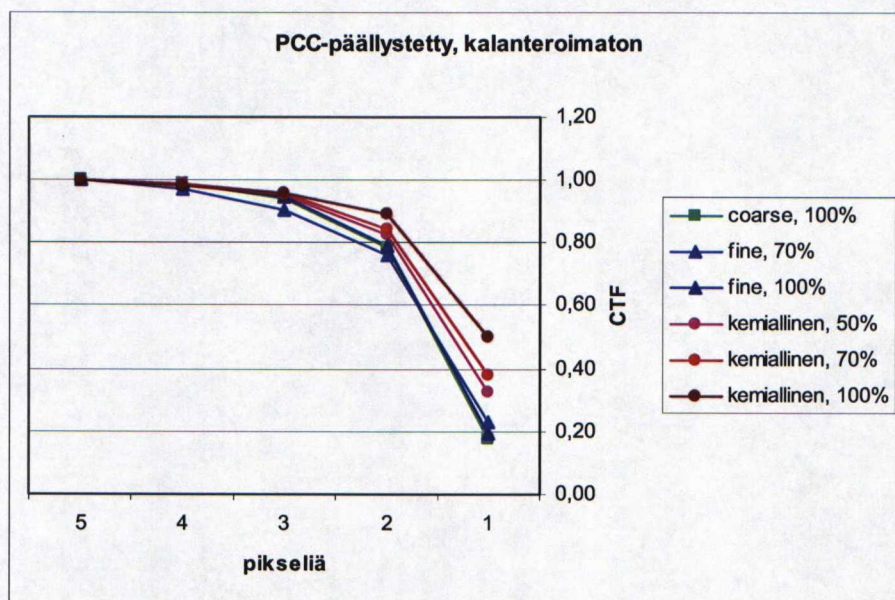


**Kuva 41.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla kationisella tärkkelyksellä pintaliimatulla 160 asteessa kalanteroidulla paperilla

Sileämmällä paperilla (kuva 41) kemiallisen toonerin eri valotusmäärien saavuttamat tulokset tasoittuvat. Coarse tooneri käyttäytyy kuten karheammillakin pintaliimatuilla pape-reilla. Kapeimmalla viivalla saavutettujen kontrastinsiirtofunktioiden välinen ero ei kuiten-kaan kokonaisuudessaan ole kasvanut kovin paljoa karheampaa paperia suuremmaksi.



PCC-päällystetyn kalanteroimattoman paperin kontrastinsiirtofunktiot eri toonereilla on esitetty kuvassa 42. Kemiallinen tooneri tuottaa tälläkin paperilla lähes identtisen muotoiset käyrät, jotka ovat tasaisen matkan päässä toisistaan valotuksen mukaisessa järjestyksessä. Leveimmillä viivoilla coarse saavuttaa jälleen finea tooneria paremman kontrastinsiirtofunktion, mutta kapeimmalla huonoimman. Yhden pikselin viivastolla fine ja coarse tooneri saavat lähes yhtenevät funktion arvot.

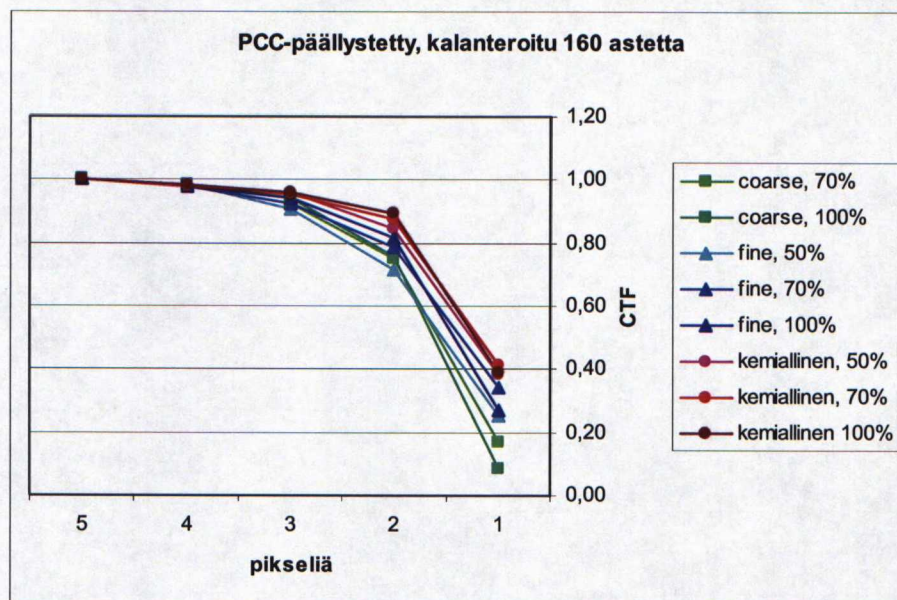


**Kuva 42.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla PCC-päällystetyllä kalanteroimattomalla paperilla

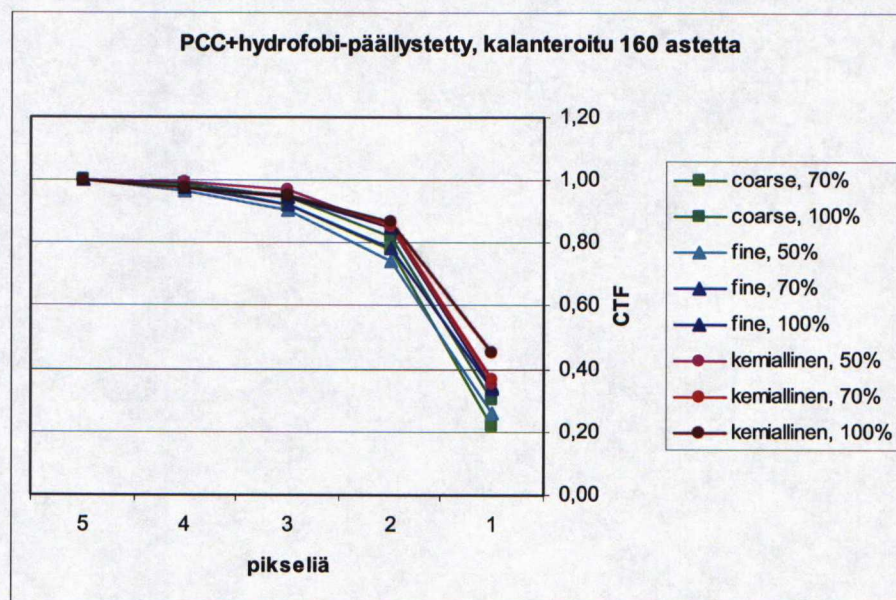
Seuraavissa kahdessa kuvassa (43 ja 44) kuvataan PCC- ja PCCh-päällystettyjen 160 asteessa kalanteroitujen papereiden kontrastinsiirtofunktioita. Leveiden viivojen alueella kemiallisen toonerin käyrät alkavat heti erottua muita paremmiksi ja finen toonerin tulokset heikoimmiksi. Coarsea tooneria tarkkailtaessa voidaan havaita, että valotukset järjestyvät suuruusjärjestykseen. Finella toonerilla järjestys ei seuraa valotusta ja kemiallisella toonerilla tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan.

Kapeimpaan viivastoon siirryttäessä coarsella ja finella toonerilla valotusten järjestys kääntyy päinvastaiseksi. Toonerin leviäminen heikentää kontrastinsiirtofunktiota tummentamalla viivojen välistä aluetta. Kemiallisella toonerilla valotusten järjestys säilyy myös kapeilla viivoilla. Erityisesti PCC-päällystetyllä paperilla voidaan todeta kontrastinsiirtofunktio määräytyvän kapeilla viivoilla toonerin partikkelikoon ja viivan erottuvuuden perusteella. PCCh-päällystetyllä paperilla pätee sama ajatus, mutta ei yhtä selkeästi; kapeimmalla viivastolla kontrastinsiirtofunktion arvot ovat lähempänä toisiaan eri toonereilla.





**Kuva 43.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla PCC-päällystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla

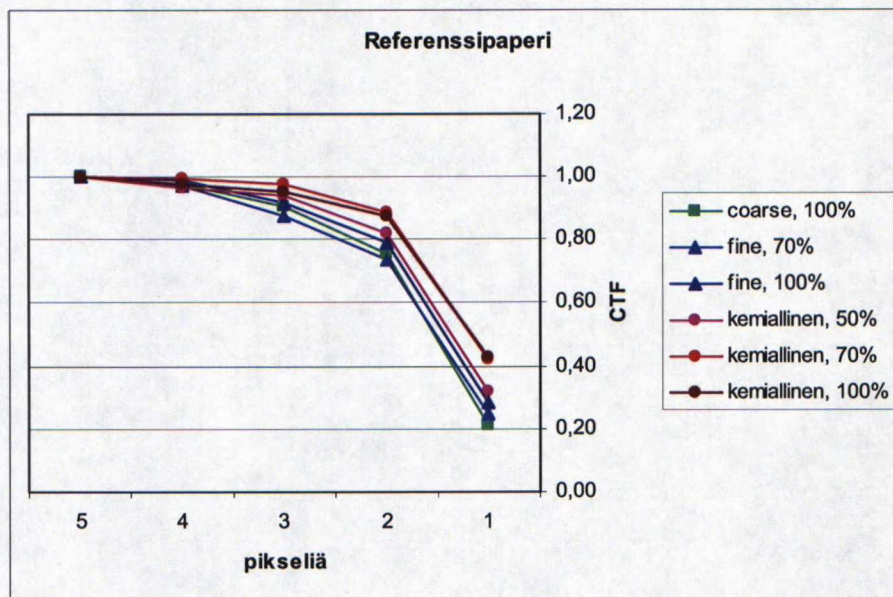


**Kuva 44.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla PCCh-päällystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla

Referenssipaperilla (kuva 45) kuvaajien muodot ja järjestys ovat samanlaisia kuin pintalii-matulla pilottipaperilla. Coarse tooneri saa finea tooneria paremman kontrastinsiirtofunkti-on arvon leveiden viivojen alueella ja huonomman kapeimmalla. Kemiallisen toonerin va-lotukset ovat samassa järjestyksessä kaikilla viivanleveyksillä ja kaksi suurinta valotusta saavat kapeimmilla viivoilla yhtenevät tulokset. 50 %:in valotus kemiallisella toonerilla ja



kaikki coarsen ja finen valotukset saavat kapeimmalla viivalla hyvin lähellä toisiaan olevat tulokset.



**Kuva 45.** Kontrastinsiirtofunktion kuvaajat eri toonereilla referenssipaperilla

## 6.4 Viivapalkin ominaisuudet

### 6.4.1 Leveys

Toonerin leviäminen paperilla on yksi yksityiskohtien toistokykyä eniten heikentävistä tekijöistä. Eri toonerit leviävät tietysti eri tavalla, mutta myös paperi ja sen pintarakenne vaikuttavat siihen, kuinka paljon toneri leviää. Viivan leveydet on mitattu viiden pikselin levyisistä viivoista eristetyistä yksittäisistä viivoista, joita on analysoitu Scion Imagen makroilla. Ainoastaan horisontaaleja viivoja on analysoitu vertikaalien viivojen hajoamisen ja jakautumisen vuoksi.

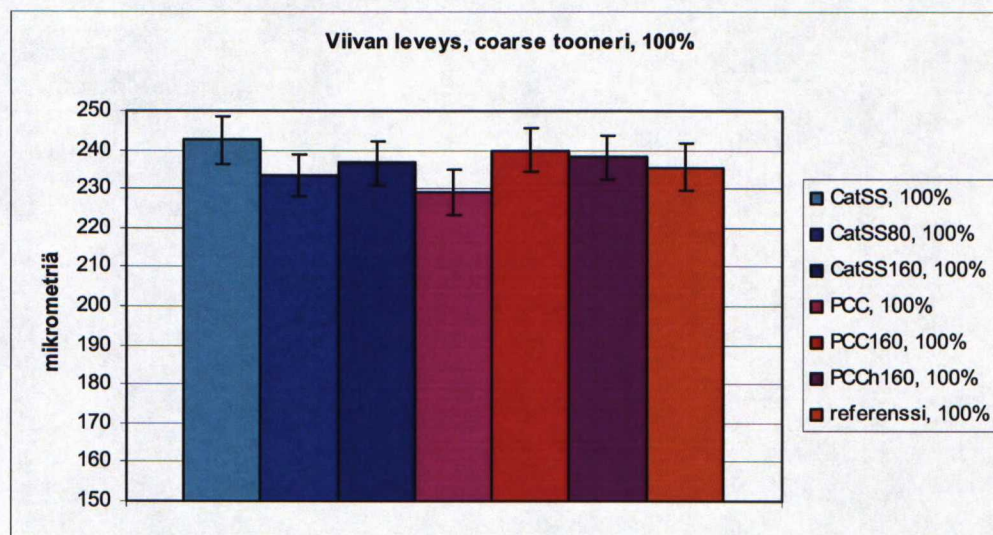
Ensimmäisessä kuvassa 46 on esitetty viivan leviäminen eri papereilla coarsen toonerin 100 %:in valotuksella. Coarsella toonerilla on esitetty vain 100 %:in valotuksen tulokset, sillä suurin osa 70 %:in ja kaikki 50 %:in valotuksella tulostetuista viivastoista poistettiin kapeimpien viivojen erottumattomuuden takia koealueesta. Optimaalinen viivanleveys on epäselvä, johtuen testitulostimen resoluution epätarkkuudesta. Vaikka testikuva oli valmistettu 600 dpi:in tarkkuuteen, jolloin tavoiteltu viivanleveys olisi

$$5 * \frac{1''}{600} = 5 * \frac{2,54cm}{600} = 0,02116cm = 212\mu m, \quad (6)$$

vaikuttaa tulostimen resoluutio, jonka arveltiin olevan hieman yli 200 dpi:tä, viivanleveyteen merkittävästi. Koska tulostimen tarkkaa resoluutiota ei tiedetä, voidaan näitä viivanleveyksiä vertailla vain keskenään. Viivan leveyteen laskettiin mukaan ainoastaan yhtenä-



sessä viivassa kiinni olevat pisteet. Kaikki viivapalkkien karakterointiin liittyvät tulokset on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 5.

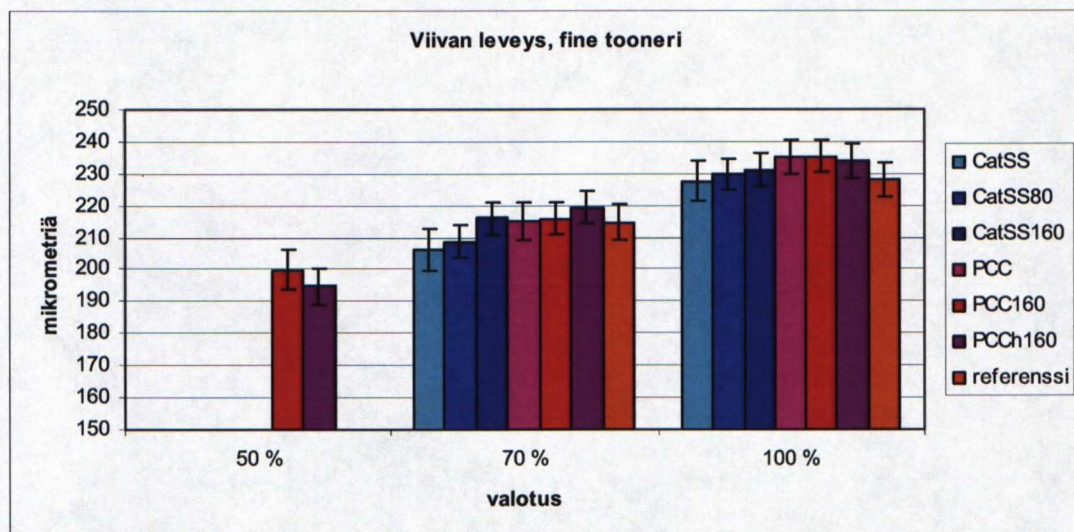


**Kuva 46.** Viivan leviäminen eri papereilla coarsella toonerilla 100 %:in valotuksella

Coarsella toonerilla ja 100 %:in valotuksella ei ole havaittavissa selkeää trendiä karheuden suhteen pintaliimatulla paperilla. Yleensä leviäminen lisääntyy paperin sileyden lisääntyessä, mutta pintaliimatulla paperilla karhein kalanteroimaton paperi näyttää aiheuttavan eniten leviämistä. Päälystetyillä papereilla leviäminen korreloi hyvin karheuden kanssa. Referenssipaperilla viivanleviäminen on yhtä suurta pintaliimattujen kalanteroitujen papereiden kanssa, mikä oli odotettua samanlaisten ominaisuuksien valossa.

Kuvassa 47 on esitetty viivan leviäminen eri papereilla finella toonerilla. Myös fine toonerin 50 %:in valotuksen paperisarjasta puuttuu osa johtuen epäkelvojen viivastojen hylkäämisestä.

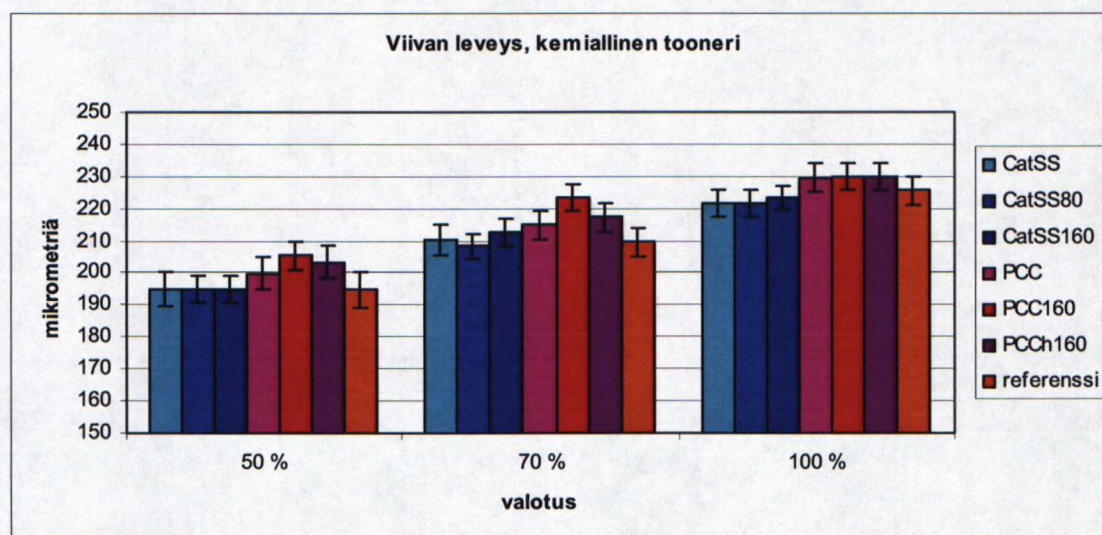




**Kuva 47.** Viivan leviäminen finella toonerilla

Finella toonerilla viivan leviäminen pintaliimatuilla papereilla korreloi hyvin paperin sileyden kanssa. Päälystetyillä papereilla korrelaatio ei ole yhtä selkeää ja leviämistä tapahtuu pintaliimattua paperia enemmän. Tämä johtuu siitä, että pintaliimattulla paperilla tooneri paitsi leviää, myös penetroituu paperin sisään, kun taas päälystetyillä paperilla penetroitumista ei tapahdu yhtä paljon. Myös sileyserot ovat päälystetyillä papereilla pintaliimattua pienempiä eri kalanterointien välillä. Referenssipaperin viivanleviäminen on tälläkin toonerilla yhtäläistä pintaliimattujen kanssa.

Valotusmäärät vaikuttavat viivanleviämiseen lisääntyvän toonerimäärän myötä. Suuremmalla valotuksella tooneripartikkeleiden määrä lisääntyy, jolloin nippipuristuksessa suurempi määrä tooneria etsii paikkaansa. Näin myös tooneria leviää enemmän viivan rajojen ulkopuolelle. Seuraavassa esitetään viivan leviäminen kemiallisella toonerilla (kuva 48).



**Kuva 48.** Viivan leviäminen kemiallisella toonerilla



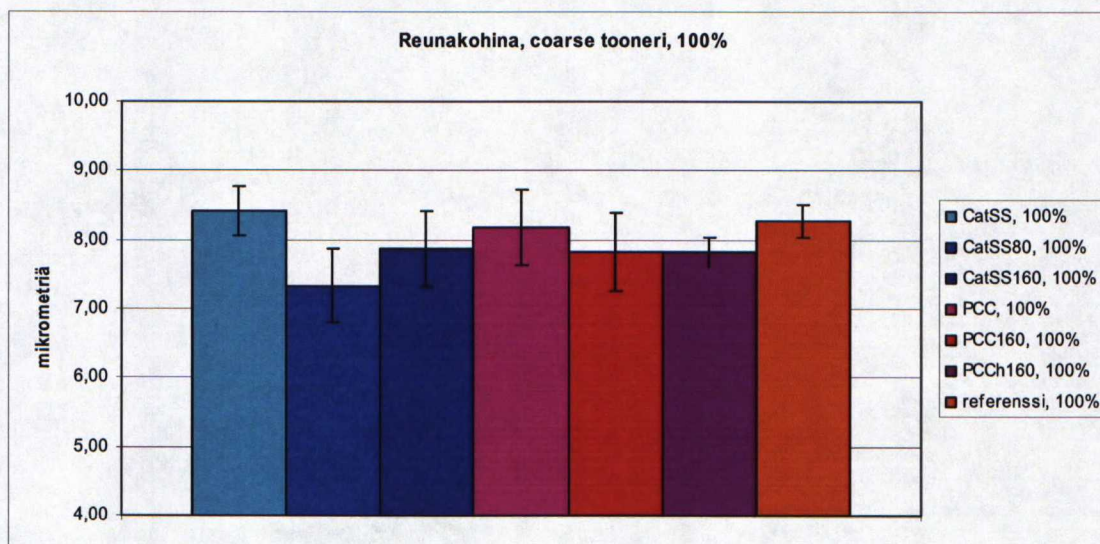
Kemiallisella toonerilla kaikilla valotusmäärillä pintaliimatut paperit saavat hyvin samankaltaisia leveyksiä ja leviävät kaikkein vähiten. Eri karheuksilla ei ole juurikaan eroja. Odotetusti päällystetyllä paperilla myös kemiallinen tooneri leviää eniten. Pienemmillä valotuksilla on myös havaittavissa vaikutusta sileyden suhteen. Sadan prosentin valotuksella pintaliimatut paperit muodostavat oman vähemmän leviävän ryhmänsä ja päällystetyt hiukan enemmän leviävän ryhmän. Huomattavia eroja eri sileyksien välillä ei ole.

Eri toonereiden aiheuttamaa leviämistä vertailtaessa voidaan havaita, että 100 %:in valotuksella leviämistä tapahtuu vähiten pienipartikkelisella kemiallisella toonerilla ja eniten suuripartikkelisimmalla eli coarsella toonerilla. Viivan leviäminen riippuu siis selvästi toonerin partikkelikoosta. Toonerin aiheuttamat erot viivanleviämiseen ovat selkeästi suurempia kuin paperien aiheuttamat erot. Silti paperin vaikutus ei ole aivan merkityksetöntä.

#### 6.4.2 Reunakohina

Reunakohina on yksi viivan leviämistä kuvaavista mitoista. Se ilmaisee viivapalkin reunan keskihajonnan laskettuna vaakasuorana etäisyytenä palkin keskeltä sen reunoihin. Räsänen /51/ havaitsi reunakohinan olevan taajuusriippuvaista eli riippuvaista viivan leveydestä. Tässä tutkimuksessa mitattiin reunakohinaa Scion Imagen makrojen avulla viiden pikselin levyisistä viivoista koepisteiden suuren määrän takia, joten reunakohinaa ei voida tarkastella viivanleveyden funktiona.

Kuvassa 49 on esitetty coarsen toonerin eri papereilla saama reunakohina 100 %:in valotuksella.



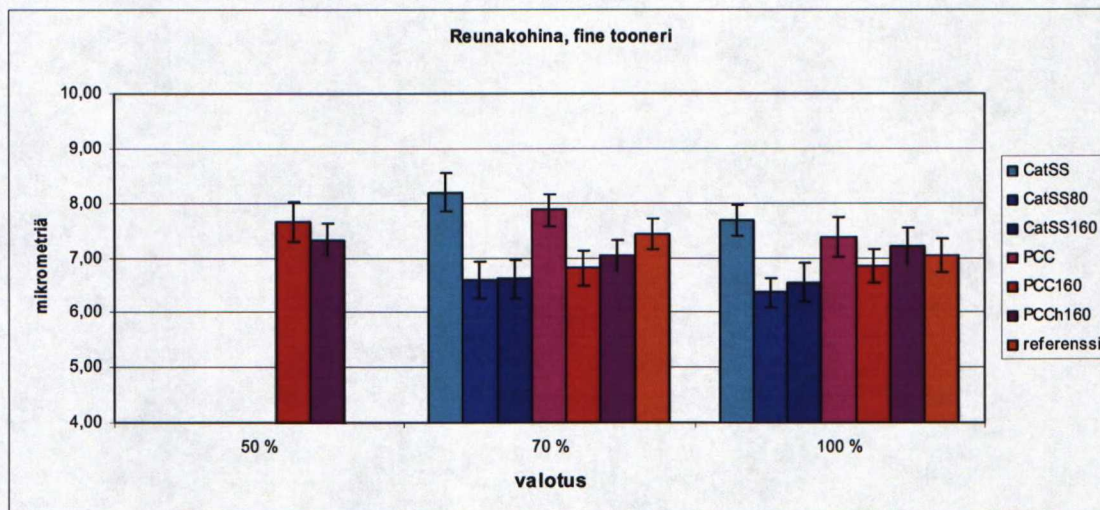
**Kuva 49.** Reunakohina coarsella toonerilla 100 %:in valotuksella

Eniten kohinaa esiintyy karheimmalla pintaliimatulla ja referenssipaperilla. Kohina pintaliimatuilla papereilla ei kuitenkaan näytä riippuvan karheudesta, sillä 80 asteessa kalantroidun paperin reunakohina on selkeästi pienempää kuin sileimmällä 160 asteessa kalantroidulla paperilla. 80 asteessa kalantroidulla paperilla on näistä kolmesta eri karheustasos-



ta pienin pintaresistiivisyys, minkä toisaalta pitäisi vaikeuttaa siirtotapahtumaa ja siten vähentää tarkkuutta. Päälystetyillä papereilla kohinan määrä taas näyttää vastaavan sileyttä.

Seuraavassa kuvassa 50 on kuvattu reunakohina finella toonerilla eri valotusmäärillä ja papereilla.

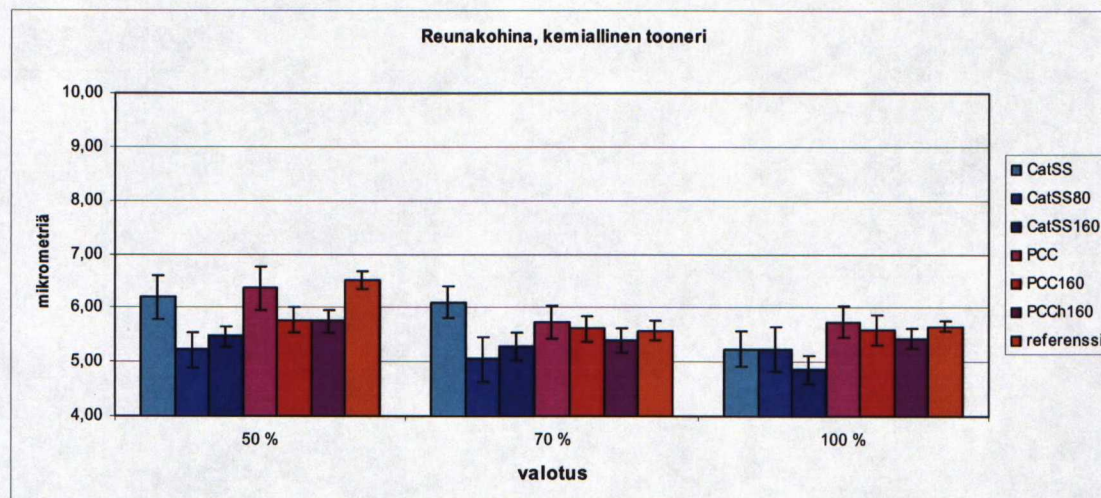


**Kuva 50.** Reunakohina finella toonerilla

Finella toonerilla reunakohina pintaliimatuilla papereilla on lähes samankaltaista kuin coarsella. Kahden sileimmän ero ei 100 %:in valotuksella kuitenkaan ole niin selkeä ja 70 %:in valotuksella reunakohinalla ei ole eroa. Karheimmilla papereilla, sekä pintaliimatuilla että päälystetyllä, kohina on suurinta. Finella toonerilla kahdella pisimmällä valotuksella päälystetyt paperit korreloivat hyvin karheuden suhteen; sileimmällä PCC-päälystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla reunakohina on vähäisintä ja kalanteroimattomalla suurinta. Pintaliimatuilla kalanteroiduilla papereilla reunakohina on kaikkia päälystettyjä papereita pienempää.

Coarseen tooneriin verrattuna reunakohina finella toonerilla on selkeästi vähäisempää. Eri paperit aiheuttavat kuitenkin suurempia vaihteluja reunakohinassa kuin tooneri. Vertaamalla edelleen seuraavaan kuvaa (kuva 51), jossa on esitetty reunakohina kemiallisella toonerilla, voidaan havaita, että kemiallisella toonerilla reunakohina on edelleen vähäisempää. Ero finen ja kemiallisen toonerin välillä on myös suurempi kuin ero finen ja coarsen toonerin välillä.





**Kuva 51.** Reunakohina kemiallisella toonerilla

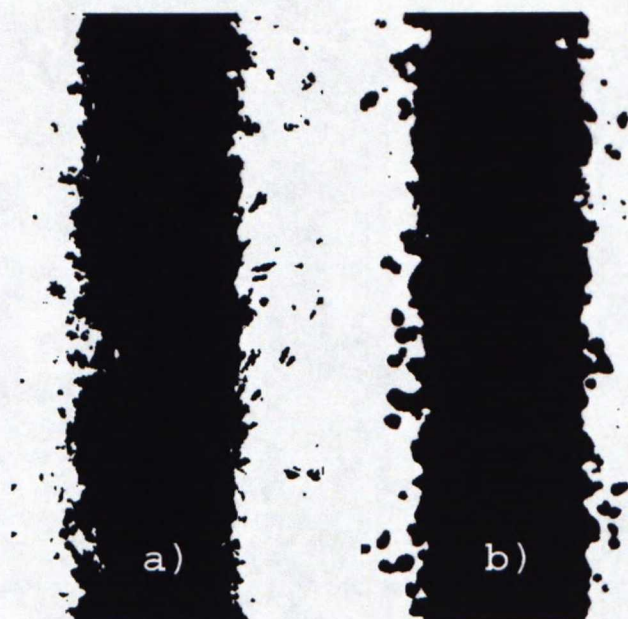
Kemiallisella toonerilla erot reunakohinassa eri papereiden välillä näyttävät tasoittuvan. Kahdella lyhyimmällä valotuksella pintaliimatut paperit aiheuttavat samankaltaiset erot reunakohinassa kuin coarse tooneri, mutta pienemmässä mittakaavassa. Pisimmällä 100 %:in valotuksella pintaliimattujen paperien reunakohina taas vähenee kalanteroinnin myötä eli sileyden lisääntyessä. Päälystetyillä papereilla eniten kohinaa tuottaa karhein kalanteroimaton paperi, mutta ero 160 asteessa kalanteroitujen PCC ja PCCh päälystetyn välillä ei noudata karheuden suuntaa.

Sekä finella että kemiallisella toonerilla reunakohina vähenee valotuksen lisääntyessä. Tämä johtuu lisääntyvästä toonerimäärästä. Suurempi toonerimäärä muodostaa sulaessaan tasaisemman reunan.

#### 6.4.3 Rosoisuus

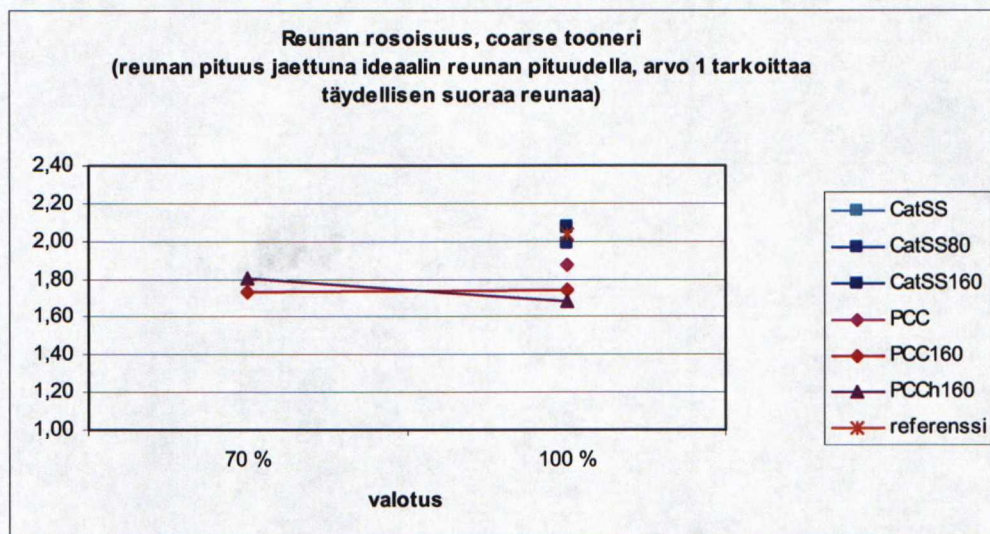
Viivapalkin terävyys heikkenee tulostusprosessin eri vaiheissa. Muun muassa tooneripartikkeleiden siroaminen ja leviäminen heikentävät reunan terävyyttä, joka on yksi yksityiskohtien toistokykyyn vaikuttavista tekijöistä. Tässä tutkimuksessa eri papereilla ja toone-reilla rosoisuuden syntymekanismit olivat erilaisia. Pintaliimatuilla papereilla tooneri leviää kuitujen väliin ja kuidut paljastuvat. Näin syntyvä reunan vaihtelu on terävää ja kapeaa (kuva 52 a). Päälystetyillä papereilla, ja erityisesti kalanteroiduilla päälystetyillä, reunan vaihtelu on pyöreämuotoista ja johtuu toonereiden siroamisesta ja leviämisestä (kuva 52 b). Tooneripartikkeleiden sirontaa tapahtuu eniten toonerin siirrossa ja tässä tutkimuksessa kemiallisella toonerilla. Yleensä pienikokoisten tooneripartikkeleiden hallinta on vaikeampaa, koska niiden varaus jää pienemmäksi kuin isommilla partikkeleilla /20/.





**Kuva 52.** 5 pikselin viivastosta eristetty viiva finella toonerilla 100 %:in valotuksella a) pintaliimatulla 80 asteessa kalanteroidulla paperilla ja b) PCC-päällystetyllä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla

Viivapalkin rosoisuuden mittaa voidaan pitää terävyyden käänteismittana; mitä rosoisempi viiva, sitä huonompi on terävyys. Viivapalkin rosoisuus kuvaa reunan tangentiaalista poikkeamista ideaalisen palkin reunasta. Scion Imagen makro laskee rosoisuuden viivapalkin perimetrin suhteena ideaalisen palkin pituuteen. Näin saadaan selville viivan rosoisuuden määrä. Rosoisuuden arvo yksi kuvaa täysin suoraa ideaalista palkkia eli mitä lähempänä ykköstä rosoisuusarvo on, sitä terävämmin viivapalkki toistuu. Kuvassa 53 on kuvattu coarsen toonerin muodostamien viivapalkkien rosoisuus eri papereilla ja toonerimäärillä.

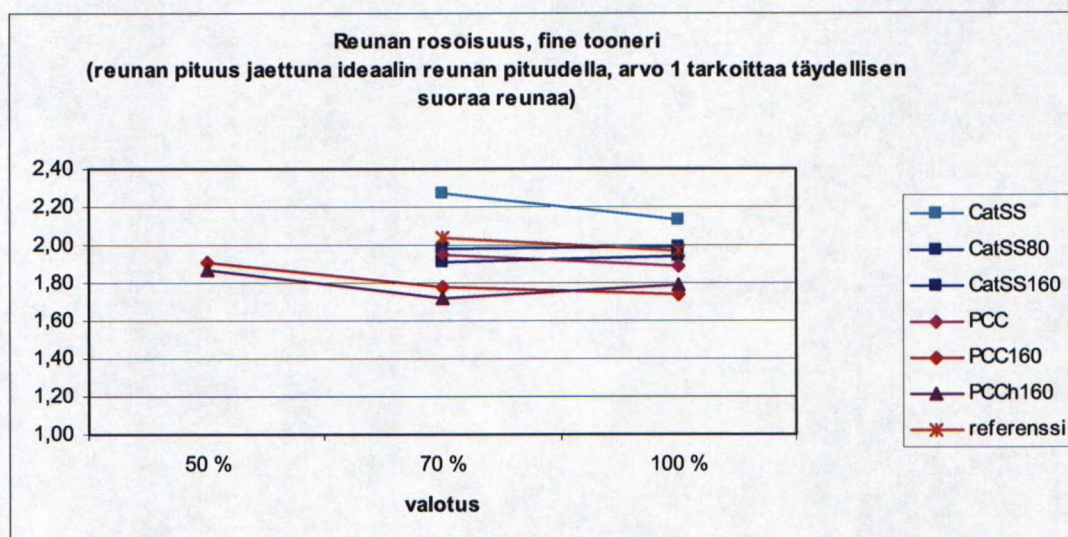


**Kuva 53.** Reunan rosoisuudet coarsella toonerilla



Coarsella toonerilla 70 % valotuksella vain kahdelle paperille saatiin aikaan erottuvat viivakuviot yhden pikselin levyisillä viivoilla. Nämä kaksi paperia ovat sileimmät koko paperijoukosta eli 160 asteessa kalanteroidut PCC- ja PCCh-päällystetyt paperit. Näistä kahdesta silein eli PCC-päällystetty on terävin eli vähiten rosoinen. Ero PCCh-päällystettyyn ei kuitenkaan ole suuri. 100 %:in maksimivalotuksella PCC-päällystetty paperi saavuttaa saman rosoisuuden kuin 70 %:in valotuksellakin. PCCh-päällystetyn paperin rosoisuus lisääntyy hieman. Pintaliimatut paperit saavat aikaan huomattavasti rosoisemman reunan, joka johtuu kuitujen suunnassa ja välissä tapahtuvasta teräväpiirteisestä leviämisestä. Pintaliimattujen papereiden rosoisuusjärjestys ei selity millään yksittäisellä paperin mittaustuloksella. Erot papereiden välillä ovat pieniä, mutta 80 asteessa kalanteroitu paperi saavuttaa kuitenkin erottuvasti parhaan tuloksen. Silein ja karhein saavat taas lähes yhtäläiset huonoimmat tulokset.

Seuraavassa kuvassa 54 on esitettyä eri papereilla finella toonerilla tulostettujen viivojen reunan rosoisuuksien mittaustulokset.



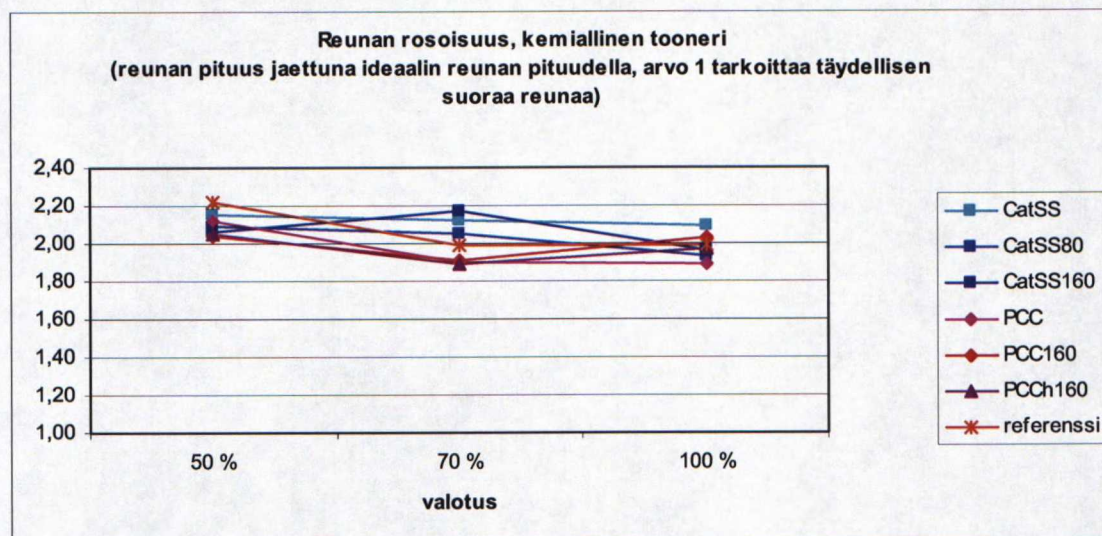
**Kuva 54.** Reunan rosoisuudet finella toonerilla

Myös finella toonerilla kaksi sileintä päällystettyä paperia tuottavat vähiten rosoiset eli terävimmät viivan reunat. 100 %:in valotuksella rosoisuus noudattelee muutenkin lähes papereiden sileysjärjestystä. Poikkeus sileysjärjestykseen tulee 160 asteessa kalanteroidun pintaliimatun ja kalanteroimattoman päällystetyn paperin välille; karheampi päällystetty paperi tuottaa vähemmän rosoisen viivanreunan. Tämä johtuu todennäköisesti paperin pinna. Päällystetyllä paperilla penetroitumista paperin sisään ei tapahdu niin paljon kuin pintaliimatulla. Näin viivan leviäminen päällystetyllä paperilla tasoittaa viivan reunaa jonkin verran verrattuna pintaliimattuun.

Eniten kalanteroiduilla sileimmillä papereilla, sekä pintaliimatulla että päällystetyillä papereilla, 70 % valotus tuottaa vähiten rosoisen tuloksen. Tämä saattaa johtua siitä, että 100 %:in valotuksella tooneripartikkeleita on enemmän ja silloin niitä siroaa enemmän myös



viivan ulkopuolelle. Kun sileillä papereilla viivan leviämistä tapahtuu eniten, leviää viiva osittain kiinni sironneisiin satelliittipartikkeleihin ja reunan rosoisuus lisääntyy. Karheammilla papereilla rosoisuus taas vähenee valotuksen lisääntyessä, mikä johtuu siitä, että toonerikerros ja siten myös sen peittokyky kasvaa. Näin pinnan epätasaisuudet eivät tule pintaan kiinnityksessä. Sama ilmiö on ainakin osittain havaittavissa kemiallisella toonerilla (kuva 55).



**Kuva 55.** Reunan rosoisuudet kemiallisella toonerilla

Kemiallisella toonerilla erot rosoisuudessa eri paperien välillä ovat pienempiä kuin lajittamalla valmistetuilla finella ja coarsella toonerilla. Pintaliimatuilla papereilla kahdella karheimmalla rosoisuus vähenee valotuksen kasvaessa. Tämä selittyy toonerikerroksen peittävyyden kasvulla. Sileimmällä 160 asteessa kalanteroidulla paperilla suurin rosoisuus syntyy 70 %:in valotuksella minimi- ja maksimivalotuksien tuottaessa paremmat tulokset. Syy tähän on epäselvä. Voi olla, että 50 %:in valotuksella tooneripartikkeleiden määrä on niin pieni, että suuri osa niistä penetroituu osittain paperiin, eikä niitä riitä leviämään reunan ulkopuolelle kuitujen väliin ja näin ollen rosoisuus olisi pienempää kuin 70 %:in valotuksella.

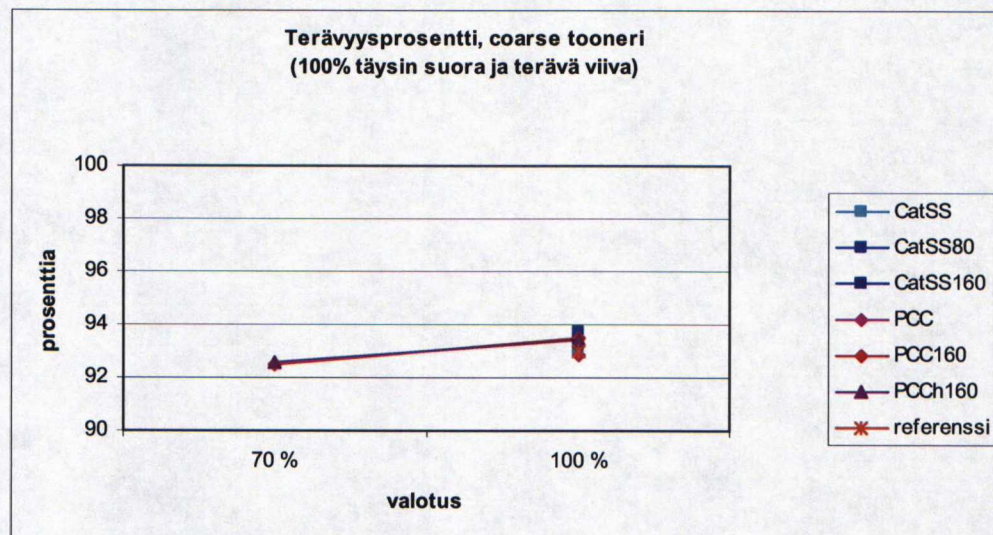
Päällystetyillä papereilla ja referenssipaperilla paras tulos saavutetaan 70 %:in valotuksella. 50 %:in valotuksella viiva jää epätäydelliseksi, mikä tuottaa lovisen reunan. 100 %:in valotuksella taas satelliittipartikkelit lisääntyvät, mikä johtaa niiden osittaiseen sulautumiseen viivaan ja se taas lisää rosoisuutta.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että kaikilla toonereilla päällystetyille papereille saadaan tuotettua terävin viiva ja paperin sileys on merkittävin tekijä rosoisen reunan muodostumiselle.



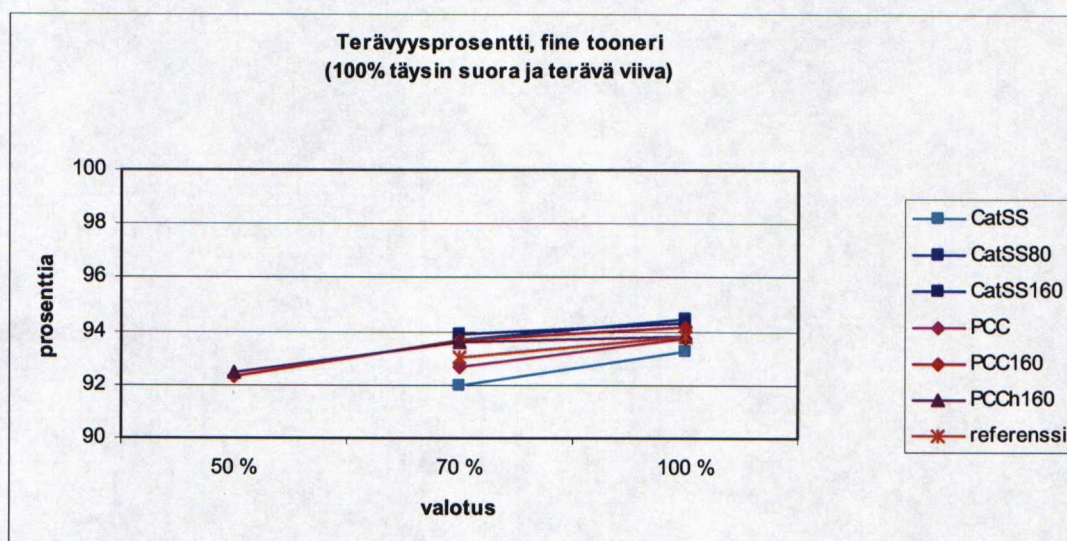
#### 6.4.4 Terävyysprosentti

Scion Image -ohjelman makroilla määritettiin myös terävyysprosentti tutkituille viivoille. Terävyysprosentti kertoo, kuinka paljon viiva muistuttaa ideaalista viivaa prosentuaalisesti. Kuvissa 56-58 on esitetty saadut terävyysprosenttiarvot kuvaajina toonereittain.



**Kuva 56.** Terävyysprosentit coarsella toonerilla

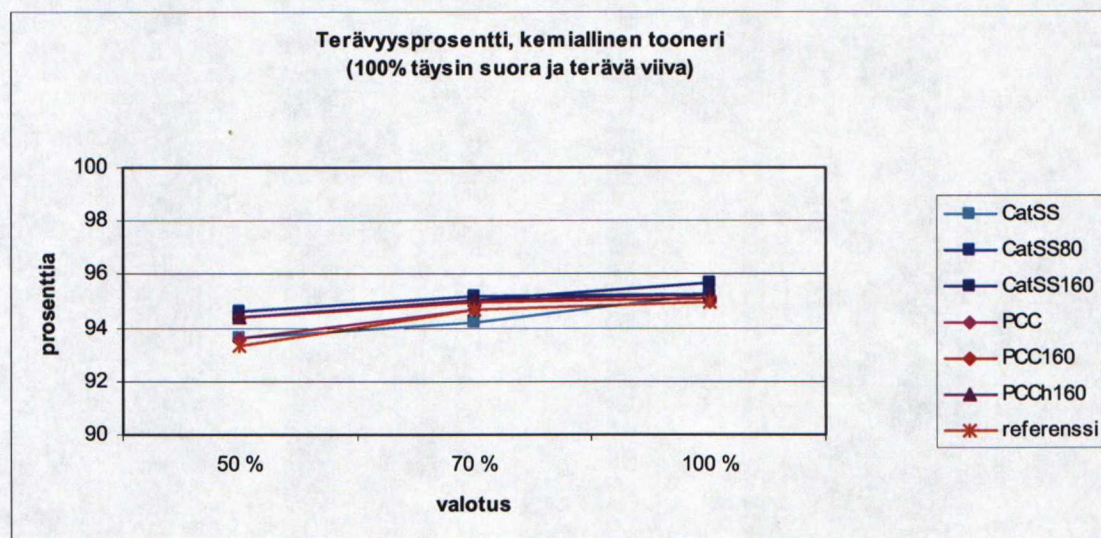
Coarsella toonerilla (kuva 56) kaikki paperit saavuttavat hyvin samankaltaiset terävyysprosentit. Eri papereiden välillä on vaikea havaita eroa. Voidaan kuitenkin havaita, että valotuksen lisääminen nostaa terävyysprosenttia. Coarsella toonerilla terävyysprosentti on 100 %:in valotuksella parhaimmillaan hiukan alle 94 % ja heikoimmillaan vähän alle 93 %.



**Kuva 57.** Terävyysprosentit finella toonerilla



Finella toonerilla (kuva 57) hajonta eri papereiden välillä on jonkin verran suurempaa kuin coarsella toonerilla. Myös finella toonerilla voidaan havaita, että terävyysprosentti paranee valotuksen lisääntyessä. Kaksi sileintä paperia eli PCC- ja PCCh-päällystetyt 160 asteessa kalanteroidut paperit tuottavat kaikilla valotuksilla keskenään lähes yhtenevät terävyysprosentit. Vaikka päällystetyt paperit yleisesti saavuttivat terävämmät reunaviivat, tuottavat kaksi sileintä pintaliimattua paperia aavistuksen päällystettyjä papereita paremmat terävyysprosentit 70 ja 100 %:in valotuksilla. Karheimmat paperit, kalanteroimattomat pintaliimattu, päällystetty ja referenssipaperi, erottuvat selkeästi muita heikompina. 100 %:in valotuksella finella toonerilla saavutetaan parhaimmillaan noin 94.5 %:in terävyys ja heikommillaan hiukan yli 93 %:in terävyys. Finen toonerin terävyysalue 100 %:in valotuksella on siis alle prosentin parempi coarsea tooneria.



**Kuva 58.** Terävyysprosentit kemiallisella toonerilla

Kemiallisella toonerilla (kuva 58) erot terävyysprosentteissa papereiden välillä ovat jälleen hiukan pienemmät. 50 %:in valotuksella erot ovat suurimpia. Karheimmat kalanteroimattomat paperit erottuvat tälläkin toonerilla muita heikommiksi. Kaksi sileämpää pintaliimattua paperia ja 160 asteessa kalanteroidut päällystetyt paperit saavat lyhyimmällä valotuksella hyvin samankaltaiset terävyysprosentit. Pintaliimatut paperit erottuvat aavistuksen parempina. 70 %:in valotuksella kalanteroimaton pintaliimattu paperi erottuu huonoimpana ja kaikki kalanteroidut paperit saavat toisiaan lähellä olevia tuloksia. 100 %:in valotuksella silein pintaliimattu paperi on erottuvasti paras ja muut saavat lähes yhteneviä tuloksia. Terävyysprosentti pisimmällä valotuksella vaihtelee 95 ja lähes 96 %:in välillä. Kemiallisella toonerilla saavutetaan siis selvästi parhaat terävyysprosentit.

Pintaliimatut paperit saavuttivat paremmat terävyysprosentit, koska niiden reunojen vaihtelu on terävää ja tiheää, mutta mittakaavaltaan pientä. Päällystettyjen papereiden reunanvaihtelu taas on harvempaa ja pyöreämuotoista, mutta mittakaavaltaan leveämpää kuin pintaliimatuilla papereilla. Siksi pintaliimatuille papereille tulostetut viivapalkit muistuttavat enemmän ideaalista viivapalkkia.



## 6.5 Paperin ja toonerin vaikutusten vertailu

Edellisissä kohdissa esitettyjen tulosten perusteella on selvää, että tooneri vaikuttaa mitattuihin tuloksiin selkeästi paperia enemmän. Jotta saatiin käsitystä vaikutusten suhteellisesta erosta, laskettiin eri papereiden ja eri toonereiden tuloksista suurimman ja pienimmän arvon erotus. Kontrastinsiirtofunktion ja dynaamisen alueen mitoissa arvot laskettiin kaapeimman viivan tuloksista. Toonerin vaikutuksessa on mukana sekä toonerin koon ja muiden ominaisuuksien muuttuminen sekä toonerimäärän muuttuminen valotuksen myötä. Paperin vaikutus on laskettu jokaiselle paperille erikseen. Saadut vaikutuksen maksimi-arvot ja niistä syntyvä vaikutuksen suhdeluku on esitetty taulukossa 8.

**Taulukko 8. Paperin ja toonerin vaikutus eri mittauksiin**

	Toonerin vaikutus max	Paperin vaikutus max	Suhde
CTF	0,33	0,16	2,1
Dynaaminen alue	24,0	10,8	2,2
Viivanleveys	47,50	15,17	3,1
Reunakohina	3,18	1,60	2,0

Kontrastinsiirtofunktion ja dynaamiseen alueeseen, jotka ovat vahvasti riippuvaisia, tooneri ja sen määrä vaikuttaa suurimmillaan hieman yli kaksi kertaa paperia enemmän. Samoin reunakohinaan toonerin ja sen määrän vaikutus on maksimissaan kaksinkertainen verrattuna paperin vaikutukseen. Viivanleveyteen tooneri ja oletettavasti erityisesti toonerin määrä vaikuttaa yli kolminkertaisesti.

## 6.6 Luotettavuusanalyysi

Tässä työssä saatuihin tuloksiin on vaikuttanut muutama testiasetelman tekijä. Nämä tekijät ovat saattaneet tuoda epätarkkuutta tuloksiin ja tekivät alkuperäisen koesuunnitelman toteuttamisen mahdottomaksi. Ehkä kaikkein eniten tuloksiin on vaikuttanut Duplo-tulostimen odotettua heikompi resoluutio. Tämä tekijä tosin vaikuttaa lähes tasaisesti kaikkiin mittapisteisiin, joten saadut tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia. Heikko ja osin määrittämätön resoluutio aiheuttaa kuitenkin sen, että tässä tutkimuksessa saadut tulokset eivät ole vertailukelpoisia muiden tutkimusten kanssa.

Duplo tuotti myös vertikaaleihin eli tulostussuunnassa pystysuoriin viivapalkkeihin epätarkkuutta. Viivat eivät olleet yhtenäisiä vaan jakautuivat pitkittäissuunnassa osiin. Nämä haamukuvat tekivät vertikaalien viivojen tutkimisen ja mittaamisen mahdottomaksi. Epäselvää on, kuinka paljon nämä haamukuvat aiheuttanut ilmiö on vaikuttanut horisontaalien viivojen tulostumiseen ja onko mahdollinen vaikutus ollut tasaista. Tulostin vikaantui silloin tällöin ja koko paperille tulostui syaania tooneria tai vaakasuoria väriraitoja. Asetusten muuttaminen saattoi myös saada tulostimen toimimaan oudosti. Tutkimuksessa käytettiin kuitenkin vain asianmukaisesti tulostuneita testikuvia.



Käytetyt kolme tooneria poikkesivat toisistaan paitsi muuttujana olleen koon suhteen myös muuten. Ensinnäkin kemiallinen tooneri, joka on valmistettu emulsio aggregaatio -menetelmällä, on raaka-aineiltaan erilainen lajittamalla valmistettujen kanssa. Kemialliseen tooneriin lisättiin kantajapartikkelit vasta laboratoriossa, joten niiden oikeasta määrästä ei ole varmuutta. Myös toonereiden pintarakenteet erosivat toisistaan. On myös erittäin todennäköistä, että coarsen ja finen toonerin pinta koki muutoksia lajittamisessa. Lajiteltu tooneri muodosti siirtoyksikössä kokkareita. Tästä pääteltiin, että lajittaminen saattoi irrottaa tooneripartikkeleiden pinnalta piitä (silica additive). Tämän on havaittu heikentävän toonerin siirtoa paperille /12/. Toisaalta oli tiedossa, että vain coarse ja fine tooneri ovat keskenään vertailtavia ja kemiallinen tooneri oli mukana vain mielenkiinnon vuoksi.

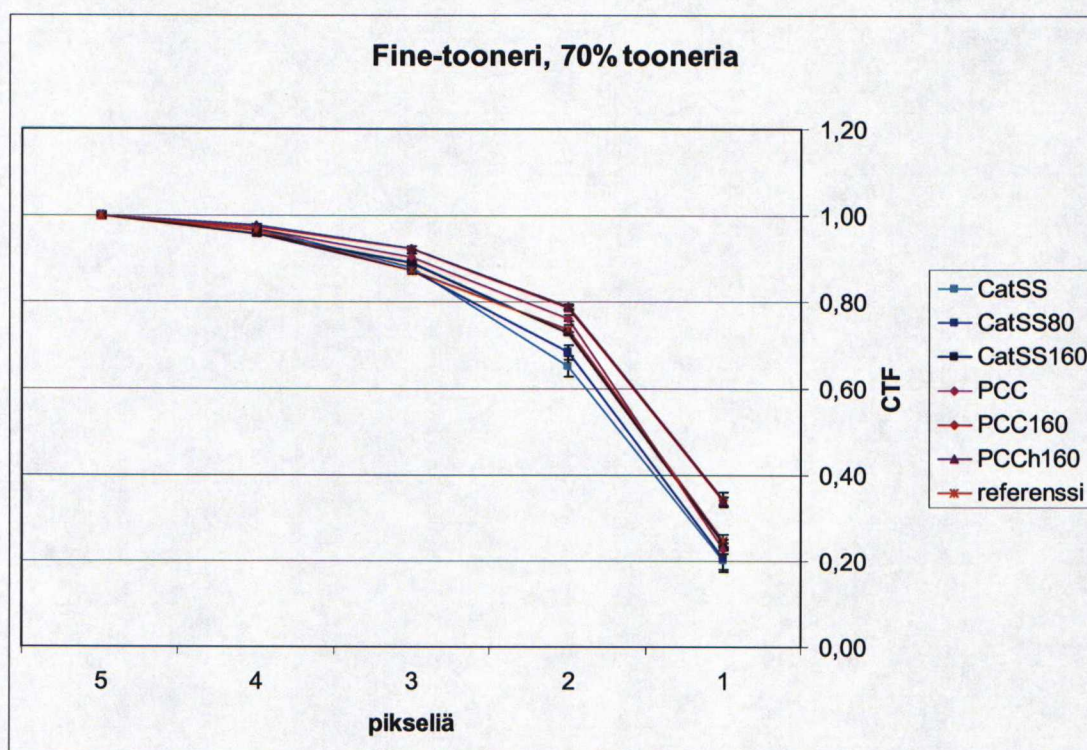
Mikroskoopin ja kameras yhdistelmällä kuvatessa kuva tarkennettiin manuaalisesti. Tämä aiheutti jonkin verran vaihtelua kuvien todelliseen tarkkuuteen, mikä saattaa myös vaikuttaa tuloksiin. Mikroskooppiin jouduttiin myös vaihtamaan lamppu kesken tutkimuksen, mutta koska kaikille papereille oli säädetty oma valkotasapaino, ei lampunvaihdon pitäisi vaikuttaa saavutettuihin tuloksiin. Jos papereissa oli kuitenkin arkkien välisiä vaaleuseroja, vaikuttivat ne mittaustuloksiin.

Kuvien käsittely ja muunnokset, joiden tarkoituksena oli saada kuvat mitattavaan muotoon, saattoivat muuttaa hieman myös kuvista mitattavia ominaisuuksia. Erityisesti viivan ominaisuuksien mittaamista varten viivapalkkeja eristettäessä viivan rajauksessa mahdollisesti tapahtuneet virheet vaikuttavat suoraan saatuihin tuloksiin. Tausta poistettiin kuitenkin kaikista kuvista samoilla asetuksilla, jotta muutoksia ei olisi kuvien välillä.

CTF:n mittaamiseen luotu ohjelma oli käytössä ensimmäistä kertaa tässä tutkimuksessa. Vaikka sillä suoritettiin koeajoja, on vaikea sanoa, millaisia sillä saadut tulokset ovat verrattuna muilla menetelmillä saatuihin, sillä vertaluu ei ollut laitteita tai menetelmiä saatavilla. Mittaustapa saattoi myös aiheuttaa virhettä, joskin selvästi virheelliset koepisteet laskettiin uudelleen tai eliminoitiin. Nämä virhetulokset olivat dekadikaupalla väärässä, joten niitä ei voinut sotkea aitoihin poikkeaviin tuloksiin. Mitatut CTF-tulokset vaihtelivat kyllä myös suuresti saman koepisteen sisällä, mikä vaikutti keskiarvon asettumispaikkaan. Suuremmilla rinnakkaismittausten määrillä yksittäisten, suuresti muista poikkeavien tulosten, merkitys lopullisessa tuloksessa olisi saatu pienemmäksi, mutta työn asettamassa mittakavassa se olisi ollut mahdotonta toteuttaa. Vaikka tulokset eivät ole vertailtavissa muiden tutkimusten kanssa, ovat ne kuitenkin tämän tutkimuksen sisällä vertailtavia ja luotettavia.

Virherajoja ei ole esitetty dynaamista aluetta ja kontrastinsiirtofunktiota kuvaavissa kuvaajissa, jotta kuva säilyisi selkeänä. Pääosin virherajat olivat hyvin pieniä, vain hieman suurempia kuin viivamerkki. Kuvassa 59 on piirretty virherajat erääseen kuvaan. Kaikki erot, jotka kuvaajien välillä voidaan havaita esitetyistä kuvista, ovat merkitseviä virherajojen ollessa näin pieniä.





**Kuva 59.** CTF-kuvaaja virherajojen kanssa



## 7 YHTEENVETO

Viimeisin suuri kehityksen kohde elektrofotografiassa on ollut tooneripartikkelien koon pienentäminen. Uudet kemiallisesti valmistetut toonerit ovat mittaluokaltaan paljon jauhetuja pienipartikkelisempia, minkä aiheuttamia vaikutuksia paperille tässä työssä pyrittiin selvittämään. Haluttiin selvittää, kuinka voidaan tutkia objektiivisesti tulostuksen mikromittaista laatua ja vertailla löydetyillä tutkimusmenetelmillä erilaisia papereita ja toonereita. Tässä työssä ei vertailtu eri tulostimia vaan pelkästään materiaaleja. Työssä keskityttiin mikromittaisiin yksityiskohtiin ja erityisesti viivarakenteisiin tulosteissa.

Työn kirjallisuususosassa käsiteltiin elektrofotografian perusperiaatteita ja toimintaa jaotellen ne osaprosesseihin. Tulostuslaatua käsiteltiin sen määrittämisen jälkeen tulostukseen osallistuvien elementtien kannalta. Todettiin, että sekä kuvan että laitteen resoluutiot ovat voimakkaimmin tulostuksen laatuun vaikuttavat tekijät. Kirjallisuususosassa luotiin myös katsaus toonereihin ja niiden ominaisuuksiin ja vaikutuksiin tulostukseen. Esiteltiin myös aiempien tutkimusten valossa tärkeimpiä tulostuslaatuun vaikuttavia paperitekniisiä ominaisuuksia.

Mikromittaisen laadun mittaustapoina päädyttiin käyttämään dynaamista aluetta, kontrastinsiirtofunktiota ja viivan ominaisuuksia. Dynaamisen alueen ja kontrastinsiirtofunktion mittaamista varten kirjoitettiin Matlab-ohjelma, jolla saatiin määritettyä minimi- ja maksimi-intensiteetit ja laskettua niistä halutut tulokset. Viivan karakterointiin käytettiin Scion Image -ohjelmaa ja siihen kirjoitettuja viiva-analyyysimakroja.

Koeaineistona tutkimuksessa käytettiin KCL:ssä valmistettuja pilotpapereita. Sarjaan kuului yksi pintaliimattu ja kaksi päällystettyä paperia, jotka kalanteroitiin kahteen eri sileystasoon. Papereille tulostettiin KCL-Duplo testitulostimella kolmella eri toonerilla testikuvat. Kaksi toonereista (fine ja coarse) oli valmistettu lajittelemalla tulostimen omaa tooneria kahteen eri kokojakumaan. Kolmantena toonerina käytettiin kemiallisesti valmistettua tooneria. Tulostetut testikentät kuvattiin mikroskoopin ja digitaalikameran yhdistelmällä. Saaduista kuvista määritettiin mittaustulokset.

Alkuperäisen koesuunnitelman mukaan muuttujina tutkimuksessa olivat paperi, tooneri, toonerimäärä ja kiinnityslämpötila. Koepisteiden kuvaaminen havaittiin kuitenkin hyvin aikaavieväksi ja koealuetta päätettiin supistaa esitestin avulla. Esitestissä tutkittiin pienellä paperi- ja toonerijoukolla, miten kiinnityslämpötila vaikuttaa mikromittaiseen viivanlaatuun. Havaittiin eri lämmöillä ja papereilla rosoisuuden syntymekanismit olevan erilaisia ja siten ei voitu laadun perusteella rajata pois toista kiinnityslämpöä tutkimuksesta. Matalampi kiinnityslämpö rajattiin kuitenkin pois, koska korkeampi lämpö vastaa paremmin todellisia tulostimia ja kiinnityslämmön vaikutus ei ollut tutkimuksen keskeisiä tavoitteita.

Varsinaisessa tutkimuksessa havaittiin, että dynaamiseen alueeseen vaikuttaa odotetusti eniten valotuksen ja sitä kautta toonerin määrä. Suuremmalla toonerimäärällä saadaan paksuilla viivastoilla aikaan suuremmat tummuusvaihtelut, mutta kapeilla viivastoilla viivat



pyrkivät sulautumaan yhteen. Papereilla eniten eroja dynaamiseen alueeseen syntyy karheuden perusteella. Resistiivisyys parantaa osoitettavuutta kaikilla toonereilla. Toonereiden välille syntyi eroja enemmän kuin papereiden välille. Coarse ja fine tooneri saavuttivat laajemman dynaamisen alueen paksuilla viivoilla ja kemiallinen kapeilla viivoilla. Tämä johtui lajitettujen toonereiden synnyttämästä paksummasta toonerikerroksesta ja kemiallisella toonerilla tuotetun kapean viivaston paremmasta erottuvuudesta.

Kontrastinsiirtofunktion avulla verrattiin papereiden ja toonereiden yksityiskohtien toistokykyä. Kontrastinsiirtofunktio on voimakkaasti riippuvainen dynaamisesta alueesta. Paperin päällystäminen vaikutti eniten kontrastinsiirtofunktiota parantavasti. Myös paperin pinnan karheus vaikutti, mutta ei yhtä paljon. Hydrofobisen lisäaineen käyttö päällystyksessä ei vaikuttanut kontrastiin kovinkaan paljon. Pääpiirteissään paperin vaikutus kontrastinsiirtofunktioon oli hyvin vähäistä, erityisesti kemiallisella toonerilla.

Eri toonereilla eroja kontrastinsiirtofunktioon syntyi. Yleinen trendi oli, että leveillä viivastoilla paremman kontrastin synnytti viivan pidemmän valotuksen aiheuttama toonerikerroksen paksuus ja kapeilla viivastoilla pienipartikkelinen tooneri. Myös suuremmat tooneripartikkelit muodostavat paksumman kiinnittyneen toonerikerroksen, kun taas pienet partikkelit tuottavat erottuvamman viivaston kapeilla viivapalkistoilla. Silmämääräisesti erot viivastojen välillä eri toonereilla tulostetuissa näytteissä ovat suuria, mutta suoritetuissa objektiivisissa mittauksessa erot eivät ole kovin suuria. Kemiallisella toonerilla lisääntyneet satelliittipartikkelit todennäköisesti vaikuttivat mittauksessa kontrastia heikentävästi.

Viivojen havaittiin leviävän enemmän päällystetyillä papereilla. Toisaalta viivojen reunat ovat silloin myös vähemmän kohinaisia ja rosoisia. Myös tooneri vaikutti viivan leviämiseen. Mitä suurempipartikkelisempi tooneri ja pidempi valotus, sitä enemmän tooneri levisi. Reunan kohina oli suurinta karheimmilla papereilla ja coarsella toonerilla. Paperi vaikuttaa kuitenkin reunakohinaan tooneria enemmän. Viivan rosoisuuden ja terävyyden havaittiin olevan eniten riippuvaista paperin karheudesta. Havaittiin myös, että rosoisuus lisääntyi toonerin partikkelikoon pienentyessä. Myös rosoisuuden syntyprosessissa oli eroja; pintaliimatuilla papereilla se johtui kuitujen väliin penetroitumisesta ja päällystetyillä papereilla tooneripartikkeleiden siroamisesta ja osittaisesta viivaan sulautumisesta.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että uusia tapoja tutkia mikromittaista laatua ei löydetty. Toisaalta työssä sovellettiin joitakin makromittakaavaan tarkoitettuja mittaustapoja mikromittakaavaan mikroskooppikuvauksen kautta. Tutkimus myös osoitti, että paperin ominaisuuksilla on merkitystä mikromittaiseen laatuun. Eniten tulokseen vaikuttaa paperin karheus. Sopiva resistiivisyys parantaa osoitettavuutta. Havaittiin myös, että toonerin partikkelikoon pieneneminen parantaa yksityiskohtien toistokykyä, mutta tuottaa heikomman tuloksen dynaamisessa alueessa ja rosoisuudessa. Työssä saavutetut tulokset ovat ennako-  
odotusten mukaisia.



## LÄHDELUETTELO

- /1/ **Ahonen, P.** *The Effect of Paper Properties on Electrophotographic Print Quality.* Teoksessa: IS&T's Tenth International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1994. s.471-474.
- /2/ **Al-Rubaiey, H., Oittinen, P.** *Controlling Fusing Parameters by Optical Image Quality in Electrophotographic Printing.* Graphic Arts in Finland 33(2004)1. s. 1-5.
- /3/ **Al-Rubaiey, H., Oittinen, P.** *Transfer Current and Efficiency in Toner Transfer to Paper.* Teoksessa: IS&T's NIP 17: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2001. s. 648-651.
- /4/ **Anon.** *Result Analysis Report.* Tulosraportti. British Rema.
- /5/ **Briggs, J.C., Forrest, D.J., Klein, A.H., Tse, M-K.** *Living with ISO-13660: Pleasures and Perils.* Teoksessa: IS&T's NIP 15: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1999. s. 421-425.
- /6/ **Britto, I.L.** *An Evaluation of Factors That Control the Fixing of Toner to Paper in Laserprinters.* Teoksessa: IS&T's Seventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1991. s.386-400.
- /7/ **Buczynski, L., Bieniewski, A.** *Analyze of Image Quality Parameters on Laser Printouts as Proposal to Extension Standard ISO 13660.* Teoksessa: IS&T's NIP 20: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2004. s. 98-101.
- /8/ **Bötel, A.** *Toner im Digitaldruck: Das Zünglein an der »Qualitäts«-Waage.* Publishing Praxis, 2002:November. s. 76-79.
- /9/ **Eida, A., Omatsu, S., Shimizu, J.** *The Advanced Color Toner for the Fine Image Quality.* Teoksessa: IS&T's NIP 20: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2004. s. 102-106.
- /10/ **Eteläaho, A. et al.** *Digitaalisen painamisen ja tulostamisen opas.* Tummavuoren Kirjapaino Oy, Vantaa 1997. 151 s.
- /11/ **Feng, J.Q., Hays, D.A.** *Theory of Electric Field Detachment of Charged Toner Particles in Electrophotography.* Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)1. s. 19-25.
- /12/ **Gady, B., Quesnel, D.J., Rimai, D.S., Leone, S., Alexandrovich, P.** *Effects of Silica Additive Concentration on Toner Adhesion, Cohesion, Transfer, and Image Quality.* Journal of Imaging Science and Technology. 43(1999)3. s. 288-294.



- /13/ **Grice, J., Allenbach, J.P.** *The Print Quality Toolkit: An Integrated Print Quality Assessment Tool*. Journal of Imaging Science and Technology. 43(1999)2. s. 187-199.
- /14/ **Gustavson, S.** *The Color Gamut of Halftone Reproduction*. Teoksessa: IS&T's NIP 12: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1996. s. 111-116.
- /15/ **Hakola, E.** *KCL Duplon resoluution määrittäminen*. Suullinen tiedonanto. 2004.
- /16/ **Hamerly, J.R.** *An Analysis of Edge Raggedness and Blur*. Journal of Applied Photographic Engineering. 7(1981)6. s. 148-151.
- /17/ **Heikkilä, I.** *The Quality Analysis of Image Reproduction*. Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)1. s. 61-67.
- /18/ **Heikkilä, I.** *The Quality of Image Reproduction: The Selection of Metrics for Analysis*. Graphic Arts in Finland 28(1999)1. s. 11-16.
- /19/ **Heilmann, J., Heikkilä, I., Majava, M., Oittinen, P.** *Print Quality in Hot Air Fusing of Toners*. Teoksessa: IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1995. s.214-218
- /20/ **Hiriyama, J., Nagao, T., Ebisu, O., Fukuda, H., Chen, I.** *Size Dependence of Adhesive Forces on Electrophotographic Toners*. Journal of Imaging Science and Technology. 47(2003)1. s. 9-12.
- /21/ **Hwang, S.S.** *Toner Penetration into Paper at Fusing*. Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)1. s. 26-30.
- /22/ **Johnson, J.L.** *Principles of non impact printing*. Palatino Press, Irvine 1996. 349 s.
- /23/ **Johnson, J.L.** *The handbook of nonimpact printing technology*. Palatino Press, Irvine 1998. 200 s.
- /24/ **Kam-Ng, M., Suitor, K.** *Dot and Line Quality Analyses Using Commercially Available Measurement Systems*. Teoksessa: IS&T's NIP 18: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2002. s. 782-786.
- /25/ **Kharin, O.R., Suveizidis, E.** *Estimation of Basic Structural Elements of an Imaging of Digital Printing*. Teoksessa: IS&T's NIP 18: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2002. s. 687-690.
- /26/ **Kipman, Y.** *The Role of Quantitative Data in Graphic Arts Production Facilities*. Teoksessa: The International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications. Belgia 2001, IS&T. s. 373-377.



- /27/ **Kipphan, H.** *Handbook of Print Media*. Springer-Verlag, Berlin 2001. 1207 s.
- /28/ **Kulmala, A., Paulapuro, H., Oittinen, P.** *Paper Properties for Electrophotographic Printing*. Teoksessa: IS&T's Tenth International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1994. s.466-470.
- /29/ **Lehtonen, E., Mattila, P., Veilo, P., Raninen, T. (toim.).** *Digitaalinen painoviestintä*. Werner Söderström Osakeyhtiö, Helsinki 2003. 162 s.
- /30/ **Leroy, L., Morin, V., Gandini, A.** *Adhesion at Toner Paper Interface in Electrophotographic Printing*. Teoksessa: TAGA 2004 Proceedings. Technical Association of the Graphic Arts, Sewickley 2004. s. 672-682.
- /31/ **Lim, P.Y.W.** *Resistivity of Non-Impact Printing Paper*. Teoksessa: IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1995. s.401-403.
- /32/ **Lindberg, T.** *Digitaalisen painamisen laatupotentiaali*. VTT Tietotekniikka, Espoo 2002, päivitetty 29.5.2002 [viitattu 22.6.2004]. Saatavilla [www-muodossa:<URL: http://www.vtt.fi/tte/staff/lne/colourimagingandmedialogistics/publications/raportti-TTE4-2002-13.pdf>](http://www.vtt.fi/tte/staff/lne/colourimagingandmedialogistics/publications/raportti-TTE4-2002-13.pdf).
- /33/ **Liu, C-H., Chen, C-J., Yang, M-D., Li, Y-J.** *Method of Measuring Resolution for Printer*. Teoksessa: IS&T's NIP 19: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2003. s. 755-757.
- /34/ **Lyne, M.B.** *Paper Requirements for Non-Impact Printers*. Teoksessa: The Fourth International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. SPSE, Springfield (VA) 1989. s. 318-325.
- /35/ **MacClaren, R.H.** *Uncoated Paper for Copying Machines*. Teoksessa: Printing Fundamentals, Glassman, A. (toim.). TAPPI PRESS, Atlanta 1985. 388 s.
- /36/ **Maeda, S., Nakai, T., Nakamura, A., Hakomori, M., Kato, M.** *Development of Paper Having Microporous Layer for Digital Printing*. Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)5. s. 410-417.
- /37/ **Majava, M.** *Methods to Characterize Dry Electrophotographic Toners*. Graphic Arts in Finland 23(1994)3. s. 3-8.
- /38/ **Meisen, U., Katherein, H.** *The Influence of Particle Size, Shape and Particle Size Distribution on Properties of Magnetites for the Production of Toners*. Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)6. s. 508-512.
- /39/ **Nguyen, N.G., Jordan, B.D., Le-Ngoc, T.** *Print Sharpness Measurement by Image Analysis*. Journal of Pulp and Paper Science 22(1996)9. s. 356-364.



- /40/ **Norberg, O., Westin, P., Lindberg, S., Klamann, M., Eidenvall, L.** *A Comparison of Print Quality between Digital and Traditional Technologies*. Teoksessa: DPP2001: International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications. IS&T, Springfield (VA) 2001. s. 380-384.
- /41/ **Oittinen, P.** *Elektronisen painatuksen mekanismit ja paperin rakenneratkaisut – Nelivärisenelektrofotografian paperille asettamat vaatimukset*. Teoksessa: Elektroninen painoviestintä 1995-1999: loppuseminaari. Jyväskylä 1999.
- /42/ **Oittinen, P., Saarelma, H.** *Elektroninen painaminen 882*, (toinen painos). Otatieto Oy, Espoo 1993. 220 s.
- /43/ **Oittinen, P., Saarelma, H.** *Elektronisen painatuksen suorituskyky*. TKK, Graafisen tekniikan laboratorio, Espoo 1994. Tiedonanto 22. 36 s.
- /44/ **Oittinen, P., Saarelma, H.** *Kuvatekninen laatu 881*. Otatieto Oy, Espoo 1991. 141 s.
- /45/ **Oittinen, P., Saarelma, H.** *Printing*. Fapet Oy, Helsinki 1998. 295 s.
- /46/ **Rohde, D., Schulze-Hagenest, D.** *Color Radiant Fusing with Continuous and Flash Radiation*. Teoksessa: IS&T's NIP 18: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2002. s. 58-63.
- /47/ **Rushing, A.J., Fields, R.D., Rimai, D.S., Hoskins, A.** *Toner Satellite Formation in Electrostatically Transferred Images*. Journal of Imaging Science and Technology. 45(2001)2. s. 187-197.
- /48/ **Russ, J.C.** *The Image Processing Handbook*, (kolmas painos). CRC Press, Boca Raton (FL) 1999. 771 s.
- /49/ **Rutland, D.** *"Plain" papers for color hard copy technologies*. Teoksessa: Bares, J. (toim.). Color Hard Copy and Graphic Arts IV. SPIE, Bellingham (WA) 1995. s. 130-139.
- /50/ **Ruuhonen, S.** *Rasteripisteiden ja palkkien analysointi Image - kuvankäsittelyohjelmalla*. TKK, Viestintätekniikan laboratorio, Espoo 1998. Raportti. 17 s.
- /51/ **Räsänen, P.** *Yksityiskohtien toistokyky pulveritoneripohjaisessa digitaalisessa elektrofotografiassa*. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, 2004. 108 s.
- /52/ **Sanders, D.J., Rutland, D.F., Istone, W.K.** *Effect of Paper Properties on Fusing Fix*. Journal of Imaging Science and Technology. 40(1996)2. s. 175-179.

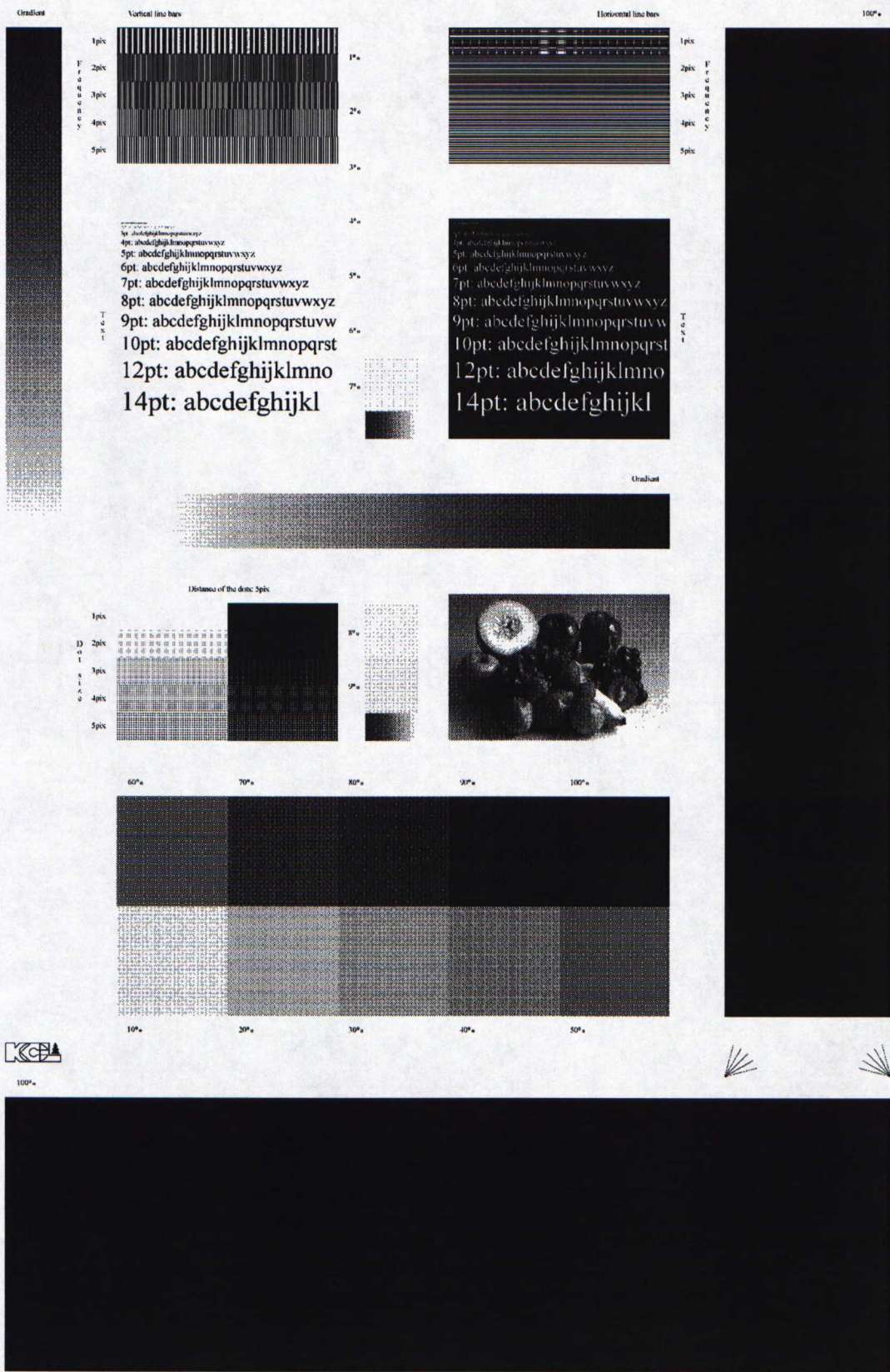


- /53/ **Sankaran, V., Smith, J.** *Fuser Roll Material Effects on Digital Print Quality*. Teoksessa: IS&T's NIP 18: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2002. s. 65-66.
- /54/ **Sastri, B., Sankaran, V.** *Media/Toner Interaction in Laser Printing*. Teoksessa: IS&T's NIP 19: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2003. s. 619-622.
- /55/ **Schein, L.B.** *Electrophotographic Development and Toner Charge Distributions*. Teoksessa: The Seventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Volume 1. IS&T, Springfield (VA) 1991. s. 103-112.
- /56/ **Schein, L.B., Beardsley, G.** *Offset Quality Electrophotography*. Teoksessa: IS&T's Ninth International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies, Japan Hardcopy '93. IS&T, Springfield (VA) ja SEPJ, Tokyo, 1993. s.77-79.
- /57/ **Schumann, R.** *EA-TrockenToner: Neue Partikel Für Xerografisches Drucken*. Publishing Praxis, 2002:September. s. 70-71.
- /58/ **Simonian, G.N.** *Comparative Study Between Different Digital and Offset Litho Printing Systems*. Teoksessa: IS&T's NIP 17: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2001. s. 813-819.
- /59/ **Simula, S.** *Electrical and Thermal Properties of Paper*. Väitöskirja. KCL Paper Science Center. 1999. 36 s.
- /60/ **Simula, S., Niskanen, K., Karjalainen, O.** *Thermal Diffusivity Measurement of Non-Impact Printing Paper*. Journal of Imaging Science and Technology. 42(1998)6. s. 550-553.
- /61/ **Sipi, K.** *Toner Layer Structure and Toner Adhesion on Coated Paper*. Teoksessa: IS&T's NIP 17: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2001. s. 145-149.
- /62/ **Sipi, K., Lamberg, M., Oittinen, P.** *Print Quality in Contact and Non-Contact Fixing*. Teoksessa: IS&T's NIP 15: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1999. s. 426-429.
- /63/ **Sipi, K.M., Oittinen, P.T.** *Print Quality with Hot Roller and IR-Radiation Fixing Methods*. Journal of Imaging Science and Technology. 44(2000)5. s. 442-451.
- /64/ **Sirviö, P.** *About Paper Properties for Modern Dry Toner Presses*. Teoksessa: IS&T's NIP 19: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2003. s. 603-606.



- /65/ **Thompson, B.** *Printing materials: science and technology*. Pira International, Surrey 1998. 567 s.
- /66/ **Toyoshima, T., Iwamatsu, T., Azuma, N., Nishio, S., Mutoh, Y.** *Optimization of the Image Profile Transform in High Resolution Electrophotography*. Teoksessa: IS&T's NIP 16: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 2000. s. 303-306.
- /67/ **Tse, M-K., Forrest, D. J., She, K.Y.** *Use of An Automated Print Quality Evaluation System as a Failure Analysis Tool in Electrophotography*. Teoksessa: IS&T's Eleventh International Congress on Advances in Non-Impact Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1995. s.251-256
- /68/ **Tse, M-K., Wong, F.Y., Forrest, D.J.** *A Fusing Apparatus for Toner Development and Quality Control*. Teoksessa: IS&T's NIP 13: International Conference on Digital Printing Technologies. IS&T, Springfield (VA) 1997. s. 310-313.
- /69/ **Weiss, D.S., Cowdery, J.R., Ferrar, W.T., Young, R.H.** *Analysis of Electrostatic Latent Image Blurring Caused by Photoreceptor Surface Treatments*. Journal of Imaging Science and Technology. 40(1996)4. s. 322-326.
- /70/ **Wilken, R., Weigl, J., Baumgarten, H.L.** *Requirements on coated and uncoated laser printing papers with particular reference to static electrification*. Teoksessa: TAPPI Proceedings, The Coating Conference. TAPPI PRESS, Atlanta 1991. s. 27-37.
- /71/ **Yamaguchi, C., Takeuchi, M.** *Influence of Toner Particle Shape and Size on Electrophotographic Image Quality*. Journal of Imaging Science and Technology. 40(1996)5. s. 436-440.
- /72/ **Ängskog, S.** *Measurement of detail rendering as a tool for print quality assessment*. Lisensiaatintyö. Royal Institute of Technology, Tukholma 1996. 93 s.







CTF.m

```
[names] = textread('kuvalista', '%s');

for j = 1 : length(names)
    filename = regexp(char(names(j)), '(\w*)', 'match');
    disp(sprintf('Image %s, %i of %i',
char(filename((size(filename,2)-1))), j, length(names)));
    i = imread([char(names(j))]);

    [contrast, err, freq, guess, idiffsum] = sovitus(i(:,:,1));
    disp(sprintf('    -- Average of Imax and Imin is %i', idiff-
sum));
    disp(sprintf('    -- Contrast %0.5g at frequency %i (guess
%i) for %s', contrast, freq, guess, char(names(j))));
    save([char(filename((size(filename,2)-1))) '.txt'], 'con-
trast', 'guess', 'freq', 'idiffsum', '-ASCII', '-DOUBLE');
end
```

-----

sovitus.m

```
function [contrast, minerr, cycles, freqguess, idiffsum] = sovi-
tus(img)

lsum = sum(img);
avg = double(sum(lsum))/size(lsum, 2);
ampguess = max(lsum)-avg;
Flsum = fft(lsum);
[foo, freqguess] = max(real(Flsum(2:30)));
disp(sprintf('    -- Guessing frequency %i cycles / image',
freqguess));
if freqguess < 3, freqguess = 20; end
%%% SOVITTELUFUNKTIO
phases = linspace(0,2*pi, 19);
amps = linspace(ampguess*0.6, ampguess*1.4, 7);
dcs = linspace(avg*0.8, avg*1.2, 3);
cycle = 2*pi/size(lsum, 2);
freqs = linspace((freqguess*0.3)*cycle, (freq-
guess*1.5)*cycle, 21);
x = 1:size(lsum, 2);
err = zeros(size(amps, 2), size(phases, 2), size(dcs,
2), size(freqs, 2));
for phase = 1 : size(phases, 2),
    for amp = 1 : size(amps, 2),
        for dc = 1 : size(dcs, 2),
            for freq = 1 : size(freqs, 2),
                wave =
dcs(dc) + (amps(amp) * (sin(x*freqs(freq) + phases(phase))));
                err(amp, phase, dc, freq) = sum((wave -
lsum).^2);
            end;
        end % dc
    end % amp
```



```

end %phase
[minerr, index] = min(err(:));
[minamp, minphase, mindc, minfreq] = ind2sub(size(err),
index);

cycles = round(freqs(minfreq)/cycle);
x = (pi/2-phases(minphase))/freqs(minfreq);
x2 = (2*pi+pi/2-phases(minphase))/freqs(minfreq);
dx = x2-x;
a = 1;

while x < size(lsum,2)
    while x<1, x = x+dx; end
    peaks(a, 1) = x;
    peaks(a, 2) = lsum(round(x));

    [fwd, bkg] = peaklook(1, freqguess, 1, size(lsum,2), lsum,
x);

    if ( fwd ~= 0 && bkg == 0 ),
        peaks(a, 1) = x+fwd/2;
        peaks(a, 2) = lsum(round(x+fwd/2));
    end
    if ( fwd == 0 && bkg ~= 0 ),
        peaks(a, 1) = x-bkg/2;
        peaks(a, 2) = lsum(round(x-bkg/2));
    end

    if (x-dx/2)>1,
        peaks(a, 3) = lsum(round(x-dx/2));
        peaks(a, 31) = x-dx/2;

        [fwd, bkg] = peaklook(0, freqguess, 1, size(lsum,2),
lsum, x-dx/2);
        if ( fwd ~= 0 && bkg == 0 ),
            peaks(a, 3) = lsum(round(x-dx/2+fwd/2));
            peaks(a, 31) = x-dx/2+fwd/2;
        end
        if ( fwd == 0 && bkg ~= 0 ),
            peaks(a, 3) = lsum(round(x-dx/2-bkg/2));
            peaks(a, 31) = x-dx/2-bkg/2;
        end
    else,
        peaks(a, 3) = lsum(round(x+dx/2));
        peaks(a, 31) = x+dx/2;

        [fwd, bkg] = peaklook(0, freqguess, 1, size(lsum,2),
lsum, x+dx/2);
        if ( fwd ~= 0 && bkg == 0 ),
            peaks(a, 3) = lsum(round(x+dx/2+fwd/2));
            peaks(a, 31) = x+dx/2+fwd/2;
        end
        if ( fwd == 0 && bkg ~= 0 ),
            peaks(a, 3) = lsum(round(x+dx/2-bkg/2));
            peaks(a, 31) = x+dx/2-bkg/2;
        end
    end
end

```



```

end

if (x+dx/2)<size(lsum,2),
    peaks(a, 4) = lsum(round(x+dx/2));
    peaks(a, 41) = x+dx/2;

    [fwd, bkg] = peaklook(0, freqguess, 1, size(lsum,2),
lsum, x+dx/2);
    if ( fwd ~= 0 && bkg == 0 ),
        peaks(a, 4) = lsum(round(x+dx/2+fwd/2));
        peaks(a, 41) = x+dx/2+fwd/2;
    end
    if ( fwd == 0 && bkg ~= 0 ),
        peaks(a, 4) = lsum(round(x+dx/2-bkg/2));
        peaks(a, 41) = x+dx/2-bkg/2;
    end
else,
    peaks(a,4) = lsum(round(x-dx/2));
    peaks(a,41) = x-dx/2;

    [fwd, bkg] = peaklook(0, freqguess, 1, size(lsum,2),
lsum, x-dx/2);
    if ( fwd ~= 0 && bkg == 0 ),
        peaks(a, 4) = lsum(round(x-dx/2+fwd/2));
        peaks(a, 41) = x-dx/2+fwd/2;
    end
    if ( fwd == 0 && bkg ~= 0 ),
        peaks(a, 4) = lsum(round(x-dx/2-bkg/2));
        peaks(a, 41) = x-dx/2-bkg/2;
    end
end

a = a+1;
x = x+dx;
end

idiffsum = 0;

for a = 1:size(peaks, 1);
    Imin = sum(peaks(a, 3:4))/2;
    Imax = peaks(a, 2);
    contrast(a) = (Imax-Imin)/(Imax+Imin);
    idiffsum = idiffsum + (Imax-Imin);
end

idiffsum = idiffsum / size(peaks, 1);

cmin = min(contrast);
cmax = max(contrast);
contrast = contrast(find(contrast>cmin));
contrast = contrast(find(contrast<cmax));
contrast = sum(contrast)/size(contrast, 2);

```

---



peaklook.m

```

function [fwd, bkg] = peaklook(peakpos, cycles, min, max, lsum, x)

if ( cycles >= 21 ),
    steps = round(max/(cycles*3));
else,
    steps = round(max/(cycles*2));
end

initialstep = round(steps/10);
fwd = 0;
bkg = 0;

%top
if ( peakpos == 1 ),
    prevlarger = 0;
    %forward search
    for j = initialstep : steps
        if ( x+j <= max),
            if ( lsum(round(x+j)) < lsum(round(x)) && prev-
larger == 1),
                fwd = j;
            end
            if ( lsum(round(x+j)) > lsum(round(x)) ),
                prevlarger = 1;
            else,
                prevlarger = 0;
            end
        end
    end
    prevlarger = 0;
    %backward search
    for j = initialstep : steps
        if ( x - j >= min ),
            if ( lsum(round(x-j)) < lsum(round(x)) && prev-
larger == 1),
                bkg=j;
            end
            if ( lsum(round(x-j)) > lsum(round(x)) ),
                prevlarger = 1;
            else,
                prevlarger = 0;
            end
        end
    end
else,
    %bottom
    prevsmaller = 0;
    %forward search
    for j = initialstep : steps
        if ( x + j <= max ),
            if ( lsum(round(x+j)) > lsum(round(x)) && prevs-
maller == 1),
                fwd = j;

```



```
        end
        if ( lsum(round(x+j)) < lsum(round(x)) ),
            prevsmaller = 1;
        else,
            prevsmaller = 0;
        end
    end
end

prevsmaller = 0;
%backward search
for j = initialstep : steps
    if ( x - j >= min ),
        if ( lsum(round(x-j)) > lsum(round(x)) && prevs-
maller == 1),
            bkg = j;
        end
        if ( lsum(round(x-j)) < lsum(round(x)) ),
            prevsmaller = 1;
        else,
            prevsmaller = 0;
        end
    end
end
end
end
```



Pintaliimattu kalanteroimaton paperi, CatSS			
toneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	10,6	2,9
	2 pikseliä	48,4	1,8
	3 pikseliä	70,3	2,1
	4 pikseliä	78,9	3,4
	5 pikseliä	85,7	2,4
fine, 70%	1 pikseli	16,5	6,2
	2 pikseliä	49,9	5,5
	3 pikseliä	69,7	2,0
	4 pikseliä	79,8	2,2
	5 pikseliä	82,6	1,6
fine, 100%	1 pikseli	14,9	6,0
	2 pikseliä	52,4	2,3
	3 pikseliä	70,5	1,2
	4 pikseliä	78,8	2,0
	5 pikseliä	84,2	1,5
kemiallinen, 50%	1 pikseli	17,7	7,8
	2 pikseliä	57,1	2,4
	3 pikseliä	69,4	1,5
	4 pikseliä	74,5	1,9
	5 pikseliä	76,3	1,2
kemiallinen, 70%	1 pikseli	29,9	1,5
	2 pikseliä	65,0	1,4
	3 pikseliä	76,4	1,9
	4 pikseliä	80,6	1,7
	5 pikseliä	82,5	2,0
kemiallinen, 100%	1 pikseli	28,6	4,9
	2 pikseliä	63,4	1,9
	3 pikseliä	75,6	1,6
	4 pikseliä	79,3	1,5
	5 pikseliä	85,9	1,7



Pintaliimattu, 80 asteessa kalanteroitu paperi, CatSS80			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	10,8	3,0
	2 pikseliä	48,2	11,3
	3 pikseliä	74,1	3,7
	4 pikseliä	87,3	1,8
	5 pikseliä	92,7	1,7
fine, 70%	1 pikseli	18,4	5,6
	2 pikseliä	56,7	2,7
	3 pikseliä	73,5	2,0
	4 pikseliä	82,7	1,2
	5 pikseliä	87,6	3,5
fine, 100%	1 pikseli	19,4	3,4
	2 pikseliä	56,5	1,2
	3 pikseliä	76,8	1,4
	4 pikseliä	86,4	2,2
	5 pikseliä	91,7	1,3
kemiallinen, 50%	1 pikseli	25,0	4,8
	2 pikseliä	58,9	1,9
	3 pikseliä	72,7	1,1
	4 pikseliä	77,3	1,6
	5 pikseliä	80,4	1,4
kemiallinen, 70%	1 pikseli	31,6	1,5
	2 pikseliä	67,5	0,5
	3 pikseliä	78,6	1,5
	4 pikseliä	84,4	0,5
	5 pikseliä	88,8	1,0
kemiallinen, 100%	1 pikseli	25,5	11,3
	2 pikseliä	65,4	1,2
	3 pikseliä	79,1	1,3
	4 pikseliä	85,3	2,5
	5 pikseliä	91,1	3,0



Pintaliimattu 160 asteessa kalanteroitu paperi, CatSS160			
toneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	11,0	5,5
	2 pikseliä	51,0	3,7
	3 pikseliä	71,3	2,7
	4 pikseliä	83,6	2,5
	5 pikseliä	87,3	1,7
fine, 70%	1 pikseli	21,9	3,3
	2 pikseliä	59,6	1,4
	3 pikseliä	75,1	1,4
	4 pikseliä	82,8	1,4
	5 pikseliä	89,8	1,8
fine, 100%	1 pikseli	16,6	2,8
	2 pikseliä	61,6	2,3
	3 pikseliä	77,1	1,4
	4 pikseliä	86,5	2,2
	5 pikseliä	89,8	2,5
kemiallinen, 50%	1 pikseli	27,8	2,8
	2 pikseliä	61,1	2,3
	3 pikseliä	74,5	1,8
	4 pikseliä	79,6	1,6
	5 pikseliä	82,3	1,7
kemiallinen, 70%	1 pikseli	32,7	2,5
	2 pikseliä	66,6	1,3
	3 pikseliä	78,9	0,9
	4 pikseliä	84,2	2,2
	5 pikseliä	87,9	1,7
kemiallinen, 100%	1 pikseli	27,6	3,9
	2 pikseliä	64,8	1,7
	3 pikseliä	80,1	1,1
	4 pikseliä	87,7	2,4
	5 pikseliä	90,9	2,5



PCC-päällystetty kalanteroimaton paperi, PCC			
toneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	12,0	4,9
	2 pikseliä	56,8	2,6
	3 pikseliä	77,7	2,6
	4 pikseliä	89,9	1,8
	5 pikseliä	93,6	2,0
fine, 70%	1 pikseli	19,1	3,9
	2 pikseliä	63,9	1,2
	3 pikseliä	78,5	2,0
	4 pikseliä	87,2	1,5
	5 pikseliä	91,2	1,2
fine, 100%	1 pikseli	10,6	4,0
	2 pikseliä	57,9	2,1
	3 pikseliä	77,8	3,2
	4 pikseliä	87,0	1,9
	5 pikseliä	90,7	2,5
kemiallinen, 50%	1 pikseli	25,2	2,2
	2 pikseliä	63,2	2,9
	3 pikseliä	76,6	1,4
	4 pikseliä	81,7	1,4
	5 pikseliä	85,1	1,5
kemiallinen, 70%	1 pikseli	25,0	4,8
	2 pikseliä	65,2	2,2
	3 pikseliä	81,1	1,8
	4 pikseliä	86,3	1,6
	5 pikseliä	90,5	1,2
kemiallinen, 100%	1 pikseli	26,3	2,1
	2 pikseliä	66,3	1,4
	3 pikseliä	81,5	1,3
	4 pikseliä	88,8	1,8
	5 pikseliä	91,9	1,7



PCC-päällystetty 160 asteessa kalanteroitu paperi, PCC160			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 70%	1 pikseli	14,1	8,1
	2 pikseliä	59,7	3,9
	3 pikseliä	79,8	2,2
	4 pikseliä	89,1	1,5
	5 pikseliä	92,9	1,2
coarse, 100%	1 pikseli	5,0	2,3
	2 pikseliä	51,3	7,5
	3 pikseliä	76,6	4,0
	4 pikseliä	88,4	1,5
	5 pikseliä	92,5	1,7
fine, 50%	1 pikseli	23,6	2,8
	2 pikseliä	60,2	3,0
	3 pikseliä	77,0	1,7
	4 pikseliä	85,2	1,6
	5 pikseliä	87,1	1,2
fine, 70%	1 pikseli	27,3	3,8
	2 pikseliä	64,4	2,3
	3 pikseliä	81,3	1,5
	4 pikseliä	88,6	3,0
	5 pikseliä	92,5	1,6
fine, 100%	1 pikseli	15,0	3,9
	2 pikseliä	62,3	2,3
	3 pikseliä	81,4	2,3
	4 pikseliä	88,5	2,5
	5 pikseliä	94,8	1,5
kemiallinen, 50%	1 pikseli	29,0	5,3
	2 pikseliä	64,3	1,6
	3 pikseliä	75,8	0,5
	4 pikseliä	80,7	2,3
	5 pikseliä	84,3	1,8
kemiallinen, 70%	1 pikseli	26,5	6,4
	2 pikseliä	65,4	2,1
	3 pikseliä	78,1	1,9
	4 pikseliä	84,3	2,0
	5 pikseliä	88,5	2,4
kemiallinen, 100%	1 pikseli	19,0	6,2
	2 pikseliä	65,4	1,8
	3 pikseliä	80,5	1,5
	4 pikseliä	88,1	1,1
	5 pikseliä	91,8	1,7



PCCh-päällystetty 160 asteessa kalanteroitu paperi, PCCh160			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 70%	1 pikseli	20,3	8,8
	2 pikseliä	64,4	2,0
	3 pikseliä	81,3	4,7
	4 pikseliä	89,9	1,3
	5 pikseliä	94,2	1,1
coarse, 100%	1 pikseli	19,9	3,8
	2 pikseliä	61,6	3,9
	3 pikseliä	80,5	1,0
	4 pikseliä	90,8	1,4
	5 pikseliä	95,1	1,8
fine, 50%	1 pikseli	24,1	3,7
	2 pikseliä	62,2	1,5
	3 pikseliä	76,0	1,3
	4 pikseliä	83,1	1,7
	5 pikseliä	86,8	2,2
fine, 70%	1 pikseli	24,5	2,7
	2 pikseliä	63,1	0,6
	3 pikseliä	79,1	1,8
	4 pikseliä	87,1	1,9
	5 pikseliä	92,4	2,1
fine, 100%	1 pikseli	17,6	3,8
	2 pikseliä	64,0	2,4
	3 pikseliä	80,0	2,3
	4 pikseliä	88,9	2,8
	5 pikseliä	94,0	1,1
kemiallinen, 50%	1 pikseli	26,7	3,0
	2 pikseliä	64,1	2,2
	3 pikseliä	77,5	1,1
	4 pikseliä	81,7	1,1
	5 pikseliä	84,8	2,1
kemiallinen, 70%	1 pikseli	25,6	5,8
	2 pikseliä	66,1	2,5
	3 pikseliä	81,3	0,7
	4 pikseliä	89,1	1,7
	5 pikseliä	91,3	1,2
kemiallinen, 100%	1 pikseli	25,6	2,1
	2 pikseliä	65,4	5,1
	3 pikseliä	82,0	1,7
	4 pikseliä	90,3	1,4
	5 pikseliä	94,6	2,6



Referenssipaperi, Ref			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	kontrasti (%)	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	14,7	2,0
	2 pikseliä	54,6	2,8
	3 pikseliä	72,7	6,1
	4 pikseliä	85,9	1,2
	5 pikseliä	89,7	1,1
fine, 70%	1 pikseli	19,9	2,5
	2 pikseliä	57,8	3,8
	3 pikseliä	70,5	3,3
	4 pikseliä	80,3	2,9
	5 pikseliä	85,6	2,5
fine, 100%	1 pikseli	18,2	1,4
	2 pikseliä	59,1	1,6
	3 pikseliä	75,2	0,9
	4 pikseliä	84,9	1,4
	5 pikseliä	87,7	1,2
kemiallinen, 50%	1 pikseli	24,1	2,9
	2 pikseliä	61,1	1,8
	3 pikseliä	73,5	2,0
	4 pikseliä	78,2	2,4
	5 pikseliä	80,7	1,2
kemiallinen, 70%	1 pikseli	29,0	4,3
	2 pikseliä	66,6	2,2
	3 pikseliä	79,2	0,9
	4 pikseliä	82,6	2,6
	5 pikseliä	85,9	1,0
kemiallinen, 100%	1 pikseli	24,7	4,2
	2 pikseliä	66,5	1,2
	3 pikseliä	79,0	2,2
	4 pikseliä	86,3	1,6
	5 pikseliä	90,5	2,4



Pintaliimattu kalanteroimaton paperi, CatSS			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	0,16	0,03901
	2 pikseliä	0,70	0,01898
	3 pikseliä	0,90	0,01259
	4 pikseliä	0,96	0,02246
	5 pikseliä	1,00	0,00737
fine, 70%	1 pikseli	0,20	0,05190
	2 pikseliä	0,65	0,04697
	3 pikseliä	0,88	0,02105
	4 pikseliä	0,97	0,00537
	5 pikseliä	1,00	0,01263
fine, 100%	1 pikseli	0,23	0,06374
	2 pikseliä	0,72	0,02084
	3 pikseliä	0,90	0,00766
	4 pikseliä	0,95	0,01696
	5 pikseliä	1,00	0,01108
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,24	0,06569
	2 pikseliä	0,79	0,02338
	3 pikseliä	0,95	0,01042
	4 pikseliä	0,98	0,01316
	5 pikseliä	1,00	0,01557
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,43	0,01570
	2 pikseliä	0,89	0,00816
	3 pikseliä	0,98	0,00834
	4 pikseliä	0,99	0,00586
	5 pikseliä	1,00	0,01166
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,49	0,05265
	2 pikseliä	0,90	0,00993
	3 pikseliä	0,98	0,00585
	4 pikseliä	0,98	0,01083
	5 pikseliä	1,00	0,01207



Pintaliimattu, 80 asteessa kalanteroitu paperi, CatSS80			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	0,15	0,03584
	2 pikseliä	0,70	0,08746
	3 pikseliä	0,91	0,01765
	4 pikseliä	0,98	0,00102
	5 pikseliä	1,00	0,00409
fine, 70%	1 pikseli	0,20	0,04653
	2 pikseliä	0,68	0,03248
	3 pikseliä	0,87	0,01268
	4 pikseliä	0,96	0,01011
	5 pikseliä	1,00	0,00692
fine, 100%	1 pikseli	0,24	0,02304
	2 pikseliä	0,71	0,00688
	3 pikseliä	0,91	0,00781
	4 pikseliä	0,96	0,00844
	5 pikseliä	1,00	0,00799
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,30	0,03873
	2 pikseliä	0,78	0,02190
	3 pikseliä	0,94	0,00782
	4 pikseliä	0,98	0,01250
	5 pikseliä	1,00	0,00741
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,40	0,01982
	2 pikseliä	0,85	0,00698
	3 pikseliä	0,94	0,00772
	4 pikseliä	0,97	0,01269
	5 pikseliä	1,00	0,00800
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,47	0,01910
	2 pikseliä	0,88	0,01244
	3 pikseliä	0,95	0,00526
	4 pikseliä	0,97	0,00861
	5 pikseliä	1,00	0,01493



Pintaliimattu 160 asteessa kalanteroitu paperi, CatSS160			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	0,16	0,05830
	2 pikseliä	0,75	0,01720
	3 pikseliä	0,92	0,01338
	4 pikseliä	0,98	0,00856
	5 pikseliä	1,00	0,00614
fine, 70%	1 pikseli	0,24	0,01600
	2 pikseliä	0,73	0,00873
	3 pikseliä	0,89	0,01182
	4 pikseliä	0,96	0,28315
	5 pikseliä	1,00	0,00624
fine, 100%	1 pikseli	0,26	0,03625
	2 pikseliä	0,81	0,01898
	3 pikseliä	0,93	0,00937
	4 pikseliä	0,98	0,00940
	5 pikseliä	1,00	0,00590
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,34	0,01990
	2 pikseliä	0,81	0,01367
	3 pikseliä	0,94	0,02169
	4 pikseliä	0,98	0,00517
	5 pikseliä	1,00	0,00786
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,44	0,03235
	2 pikseliä	0,86	0,00977
	3 pikseliä	0,95	0,00426
	4 pikseliä	0,98	0,00879
	5 pikseliä	1,00	0,01310
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,45	0,04346
	2 pikseliä	0,87	0,01363
	3 pikseliä	0,95	0,00556
	4 pikseliä	0,98	0,00758
	5 pikseliä	1,00	0,00826



PCC-päällystetty kalanteroimaton paperi, PCC			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	0,18	0,06099
	2 pikseliä	0,79	0,01380
	3 pikseliä	0,94	0,01060
	4 pikseliä	0,99	0,00776
	5 pikseliä	1,00	0,00662
fine, 70%	1 pikseli	0,23	0,02580
	2 pikseliä	0,76	0,01424
	3 pikseliä	0,90	0,01707
	4 pikseliä	0,97	0,00892
	5 pikseliä	1,00	0,01533
fine, 100%	1 pikseli	0,19	0,04993
	2 pikseliä	0,79	0,01284
	3 pikseliä	0,95	0,00802
	4 pikseliä	0,99	0,00570
	5 pikseliä	1,00	0,01126
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,33	0,01829
	2 pikseliä	0,82	0,02161
	3 pikseliä	0,95	0,01349
	4 pikseliä	0,98	0,01282
	5 pikseliä	1,00	0,01542
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,38	0,05415
	2 pikseliä	0,85	0,02192
	3 pikseliä	0,96	0,00908
	4 pikseliä	0,99	0,00685
	5 pikseliä	1,00	0,00741
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,50	0,01490
	2 pikseliä	0,89	0,00719
	3 pikseliä	0,96	0,00585
	4 pikseliä	0,98	0,00415
	5 pikseliä	1,00	0,00539



PCC-päällystetty 160 asteessa kalanteroitu paperi, PCC160			
tooneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 70%	1 pikseli	0,17	0,07494
	2 pikseliä	0,75	0,02584
	3 pikseliä	0,92	0,00755
	4 pikseliä	0,98	0,00637
	5 pikseliä	1,00	0,00331
coarse, 100%	1 pikseli	0,08	0,03257
	2 pikseliä	0,76	0,05589
	3 pikseliä	0,94	0,01972
	4 pikseliä	0,98	0,01073
	5 pikseliä	1,00	0,00743
fine, 50%	1 pikseli	0,25	0,02492
	2 pikseliä	0,72	0,03201
	3 pikseliä	0,91	0,01068
	4 pikseliä	0,98	0,00474
	5 pikseliä	1,00	1,66E-02
fine, 70%	1 pikseli	0,34	0,03460
	2 pikseliä	0,79	0,01101
	3 pikseliä	0,93	0,00875
	4 pikseliä	0,98	0,01257
	5 pikseliä	1,00	0,00768
fine, 100%	1 pikseli	0,27	0,03857
	2 pikseliä	0,82	0,01032
	3 pikseliä	0,94	0,00968
	4 pikseliä	0,98	0,00990
	5 pikseliä	1,00	0,00287
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,38	0,04632
	2 pikseliä	0,85	0,01141
	3 pikseliä	0,96	0,01182
	4 pikseliä	0,98	0,02046
	5 pikseliä	1,00	0,01035
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,41	0,06539
	2 pikseliä	0,87	0,01048
	3 pikseliä	0,96	0,00918
	4 pikseliä	0,98	0,00409
	5 pikseliä	1,00	0,00725
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,39	0,08989
	2 pikseliä	0,89	0,00741
	3 pikseliä	0,96	0,00210
	4 pikseliä	0,98	0,00291
	5 pikseliä	1,00	0,00338



PCCh-päällystetty 160 asteessa kalanteroitu paperi, PCCh160			
toneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 70%	1 pikseli	0,22	0,07907
	2 pikseliä	0,78	0,01654
	3 pikseliä	0,92	0,01768
	4 pikseliä	0,99	0,00440
	5 pikseliä	1,00	0,00421
coarse, 100%	1 pikseli	0,30	0,04811
	2 pikseliä	0,82	0,02367
	3 pikseliä	0,95	0,00344
	4 pikseliä	0,99	0,00491
	5 pikseliä	1,00	0,00317
fine, 50%	1 pikseli	0,26	0,03014
	2 pikseliä	0,74	0,00843
	3 pikseliä	0,91	0,01626
	4 pikseliä	0,96	0,01151
	5 pikseliä	1,00	0,00781
fine, 70%	1 pikseli	0,34	0,01959
	2 pikseliä	0,79	0,01093
	3 pikseliä	0,93	0,00731
	4 pikseliä	0,98	0,00634
	5 pikseliä	1,00	0,00552
fine, 100%	1 pikseli	0,34	0,05483
	2 pikseliä	0,85	0,00962
	3 pikseliä	0,94	0,00401
	4 pikseliä	0,98	0,00620
	5 pikseliä	1,00	0,00346
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,35	0,02195
	2 pikseliä	0,85	0,01104
	3 pikseliä	0,97	0,00762
	4 pikseliä	0,99	0,00521
	5 pikseliä	1,00	0,01354
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,37	0,05558
	2 pikseliä	0,87	0,01653
	3 pikseliä	0,95	0,00762
	4 pikseliä	0,98	0,00909
	5 pikseliä	1,00	0,00695
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,45	0,01475
	2 pikseliä	0,87	0,02727
	3 pikseliä	0,95	0,00294
	4 pikseliä	0,98	0,00820
	5 pikseliä	1,00	0,00661



Referenssipaperi, Ref			
toneri ja sen määrä	viivan leveys	CTF	stdev
coarse, 100%	1 pikseli	0,21	0,01831
	2 pikseliä	0,75	0,02356
	3 pikseliä	0,90	0,02915
	4 pikseliä	0,98	0,00425
	5 pikseliä	1,00	0,01037
fine, 70%	1 pikseli	0,25	0,02974
	2 pikseliä	0,74	0,02648
	3 pikseliä	0,87	0,02092
	4 pikseliä	0,97	0,00802
	5 pikseliä	1,00	0,01068
fine, 100%	1 pikseli	0,28	0,01809
	2 pikseliä	0,79	0,00708
	3 pikseliä	0,92	0,00564
	4 pikseliä	0,99	0,01039
	5 pikseliä	1,00	0,00557
kemiallinen, 50%	1 pikseli	0,32	0,01901
	2 pikseliä	0,82	0,01022
	3 pikseliä	0,94	0,02028
	4 pikseliä	0,97	0,00775
	5 pikseliä	1,00	0,00489
kemiallinen, 70%	1 pikseli	0,42	0,04387
	2 pikseliä	0,89	0,00670
	3 pikseliä	0,97	0,00836
	4 pikseliä	0,99	0,01076
	5 pikseliä	1,00	0,00986
kemiallinen, 100%	1 pikseli	0,43	0,03864
	2 pikseliä	0,88	0,01227
	3 pikseliä	0,95	0,00796
	4 pikseliä	0,98	0,00777
	5 pikseliä	1,00	0,00815



Coarse tooneri

paperi ja valotusmäärä	viivan leviäminen (µm)	reunakohina (µm)	stdev (µm)	rosoisuus	terävyys%
CatSS, 100%	242,5	8,42	12,51	2,07	93,1
CatSS80, 100%	233,7	7,34	10,55	1,98	93,7
CatSS160, 100%	236,7	7,87	11,27	2,07	93,3
PCC, 100%	229,3	8,18	11,70	1,88	92,9
PCC160, 70%	218,2	8,16	11,34	1,73	92,5
PCC160, 100%	240,0	7,83	11,26	1,75	93,5
PCCh160, 70%	209,7	7,80	11,21	1,80	92,6
PCCh160, 100%	238,2	7,83	11,21	1,69	93,4
referenssi, 100%	235,7	8,28	12,51	2,04	93,0

Fine tooneri

paperi ja valotusmäärä	viivan leviäminen (µm)	reunakohina (µm)	stdev (µm)	rosoisuus	terävyys%
CatSS, 50%					
CatSS, 70%	206,0	8,20	13,03	2,28	92,0
CatSS, 100%	227,7	7,68	12,27	2,13	93,3
CatSS80, 50%					
CatSS80, 70%	208,8	6,60	10,03	1,98	93,7
CatSS80, 100%	229,8	6,36	9,81	1,99	94,5
CatSS160, 50%					
CatSS160, 70%	216,2	6,61	9,90	1,91	93,9
CatSS160, 100%	231,2	6,55	9,90	1,94	94,3
PCC, 50%					
PCC, 70%	215,0	7,87	11,74	1,95	92,7
PCC, 100%	235,3	7,37	10,98	1,90	93,7
PCC160, 50%	200,0	7,65	11,84	1,91	92,4
PCC160, 70%	215,8	6,82	10,27	1,78	93,7
PCC160, 100%	235,5	6,85	10,21	1,75	94,2
PCCh160, 50%	194,8	7,32	11,27	1,87	92,5
PCCh160, 70%	219,5	7,03	10,53	1,72	93,6
PCCh160, 100%	233,8	7,21	10,51	1,79	93,8
referenssi, 50%					
referenssi, 70%	214,7	7,43	11,37	2,05	93,1
referenssi, 100%	228,2	7,04	10,90	1,98	93,8



**Kemiallinen tooneri**

paperi ja valotusmäärä	viivan leviäminen ( $\mu\text{m}$ )	reunakohina ( $\mu\text{m}$ )	stdev ( $\mu\text{m}$ )	rosoisuus	terävyys%
CatSS, 50%	195,0	6,20	10,44	2,15	93,6
CatSS, 70%	210,3	6,11	9,94	2,12	94,2
CatSS, 100%	221,5	5,24	8,49	2,09	95,3
CatSS80, 50%	195,2	5,22	8,43	2,09	94,6
CatSS80, 70%	208,3	5,05	7,88	2,05	95,2
CatSS80, 100%	221,5	5,24	8,38	1,93	95,3
CatSS160, 50%	194,8	5,47	8,37	2,06	94,4
CatSS160, 70%	212,5	5,27	8,30	2,17	95,0
CatSS160, 100%	223,3	4,86	7,41	1,96	95,7
PCC, 50%	200,0	6,36	10,14	2,13	93,6
PCC, 70%	214,8	5,73	8,96	1,91	94,7
PCC, 100%	229,3	5,74	8,82	1,89	95,0
PCC160, 50%	205,3	5,77	8,90	2,04	94,4
PCC160, 70%	223,5	5,61	8,55	1,91	95,0
PCC160, 100%	230,0	5,60	8,41	2,03	95,1
PCCh160, 50%	203,5	5,75	9,71	2,05	94,4
PCCh160, 70%	217,3	5,41	8,86	1,89	95,0
PCCh160, 100%	229,8	5,43	8,31	1,97	95,3
referenssi, 50%	194,8	6,51	11,01	2,23	93,3
referenssi, 70%	209,5	5,57	8,76	1,99	94,7
referenssi, 100%	225,5	5,66	9,30	1,99	95,0



~~GRA-05~~

TEKNILLINEN KORKEAKOULU  
Puunjalostustekniikan osasto  
Kirjasto